SEIT 1851 ▪ STÄDTISCHES RATS GYMNASIUM ▪ MÜNSTER

Schulinterner Lehrplan

Ratsgymnasium Münster
Sekundarstufe II (G8)

Physik

(Stand März 2020)

Inhaltsverzeichnis **Seite**

1. Das Fach Physik am Ratsgymnasium 2

2. Unterrichtsvorhaben in der Sekundarstufe II 3

3. Einführungsphase

3.1 Übersicht über die Unterrichtsvorhaben 5

3.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben 6

4. Qualifikationsphase

4.1 Übersicht über die Unterrichtsvorhaben im LK 14

4.2 Übersicht über die Unterrichtsvorhaben im GK 18

4.3 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben im LK 20

4.4 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben im GK 54

1. Das Fach Physik am Ratsgymnasium

Der Physikunterricht am Ratsgymnasium stellt das **Experimentieren**, insbesondere die eigenständige Experimentierarbeit der Schülerinnen und Schüler, in den Mittelpunkt des Lernens. Die gut ausgestattete Schülerübungssammlung ermöglicht selbstständig durchgeführte Experimente in breitem Rahmen in allen Jahrgangsstufen. So gibt es zu den Themen Geometrische Optik, Mechanik, Elektrik und Elektromagnetismus Experimentierboxen für jeweils 8 bis 10 Gruppen. Auch für andere Themen ist passendes Material vorrätig oder wird in Form von Stationenlernen aufbereitet, so dass die Schülerinnen und Schüler in kleinen Gruppen experimentieren können. Die Lehrerinnen und Lehrer planen, (weitere) Materialien zur Selbstkontrolle und niveaudifferente Aufgabenstellungen zu entwickeln, um den aktiven Lernprozess noch besser zu unterstützen.

Im Schuljahr 2016/ 2017 wird die **MINT-Werkstatt** durch die Anschaffung weiterer Werkzeuge und Materialien ausgebaut, so dass die Schülerinnen und Schüler auch in den MINT-Pausen und für ihre Projekte zu den Wettbewerben „Jugend forscht“ und „freestyle physics“ gute technische Voraussetzungen vorfinden.

Einen zweiten Schwerpunkt bilden die **Dokumentation und Präsentation** des Verlaufs und der Ergebnisse der Arbeit. Von der Erarbeitung einer sorgfältigen Heftführung und der Anfertigung von Versuchsprotokollen in der Klasse 5 bis zur Dokumentation von Stationenlernen größeren Umfangs in der Klasse 9 lernen die Schülerinnen und Schüler, ihre Arbeit unter angemessener Verwendung der Fachsprache zu dokumentieren. Ab Klasse 8 werden die Möglichkeiten von Präsentationssoftware wie z.B. PowerPoint zur Unterstützung bei Referaten genutzt.

Die sinnvolle **Nutzung neuer Medien** bildet den dritten methodischen Schwerpunkt des Fachs Physik. Ab Klasse 8 wird eine Tabellenkalkulation zur rechnerischen Auswertung und Präsentation quantitativer Versuchsergebnisse in Diagrammen verwendet. Zunächst angeleitete, später zunehmend selbstständige Recherchen im Internet (insbesondere zu technischen Anwendungen physikalischer Grundlagen) sind Bestandteil des Unterrichts. Seit mehreren Jahren sind beide Physikfachräume mit active boards ausgestattet, so dass (u.a.) im Unterricht entwickelte Tafelbilder in darauffolgenden Stunden oder von den Schülerinnen und Schülern zuhause verwendet werden können. Die Möglichkeiten des graphikfähigen Taschenrechners und des Smartphones mit aktivierten Sensoren werden zunehmend erprobt und zukünftig regelmäßig im Physikunterricht genutzt.

Das Fach Physik wird mit jeweils zwei Stunden in der Stufe 5, einem Halbjahr der Stufe 6 und in den Stufen 8 und 9 erteilt. In der Einführungsphase werden in der Regel zwei Grundkurse, in der Qualifikationsphase je Jahrgangsstufe ein Grundkurs und ein Leistungskurs eingerichtet.

Der **schulinterne Lehrplan in der Sekundarstufe I** ist – angelehnt an den Kernlehrplan Physik – ausgerichtet auf die Vermittlung der Kompetenzen im Rahmen der Basiskonzepte Energie, System, Wechselwirkung und Struktur der Materie. Ein besonderes Augenmerk ist dabei gerichtet auf die prozessbezogenen Kompetenzen in den vom Kernlehrplan vorgegebenen Bereichen Kommunikation, Erkenntnisgewinnung und Bewertung. In der Klasse 5 wird anhand der Inhaltsfelder Elektrizität, Temperatur und Energie und Licht der Übergang vom spielerischen Experimentieren zum systematischen Planen, Ausführen und Dokumentieren von Experimenten vorbereitet. In der Klasse 6 schließt sich die Untersuchung optischer Instrumente und der Farbzerlegung des Lichts an. Das Thema „Auge“ bietet **Verbindungen**

zum Fach Biologie und wird nach Möglichkeit im Rahmen einer Kooperation durch den Besuch eines Arztes oder einer Ärztin der **Universitätsaugenklinik** abgerundet. In der Klasse 8 bieten die Inhaltsfelder Kraft, Druck, mechanische Energie und Elektrizität **Anknüpfungspunkte zum Mathematikunterricht**, der in dieser Klasse lineare Funktionen und das Lösen von Gleichungen thematisiert. Dasselbe gilt in der Klasse 9 für das Inhaltsfeld Radioaktivität und Kernenergie, in dem wichtige Anwendungen von Exponentialfunktion und Logarithmus aufgezeigt werden können. Außerdem können hier **Kenntnisse** über den Aufbau der Atome **aus der Chemie** aufgegriffen und vertieft werden. Die Diskussion von Energieumwandlungsprozessen sowohl im Erfahrungsfeld der Schülerinnen und Schüler als auch im großtechnischen Bereich zeigt in besonderer Weise, wie Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftlerinnen ihre Kenntnisse in die Gesellschaft einbringen und Verantwortung für ihr Handeln übernehmen müssen.

Eine **Exkursion zum Bioenergiepark** der Klimakommune Saerbeck mit allen neunten Klassen bietet sich als Vertiefung des Unterrichts an und stellt zugleich die Möglichkeit dar, den Schülerinnen und Schülern einen Einblick in die **Berufsfelder im Bereich regenerativer Energien** zu geben.

In der **Sekundarstufe II** sind die Unterrichtsinhalte im Kern durch die Obligatorik des gegenwärtig gültigen Lehrplans und die Vorgaben zu den Sachthemen der Prüfungsaufgaben im Zentralabitur bestimmt. Absprachen mit den Kooperations-gymnasien über die Unterrichtsinhalte in der Einführungsphase bilden die Basis für eine erfolgreiche Arbeit in den Leistungs- und Grundkursen der Qualifikationsphase. Eine wertvolle Ergänzung des Unterrichts ist die **Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Physik der Westfälischen Wilhelms-Universität und dem Fach-bereich Physikalische Technik der Fachhochschule Münster/ Steinfurt**. Durch Experimentalpraktika an der Fachhochschule, die Möglichkeit, Workshops und Facharbeiten in Zusammenarbeit mit dem MExLab Physik durchzuführen, und Vorträge von Professorinnen oder Professoren in der Schule erhalten die Oberstufenschüler/innen einen wichtigen Einblick in Anwendungsbereiche und **Berufsfelder,** in denen physikalische Kenntnisse bedeutsam sind.

2. Unterrichtsvorhaben in der Sekundarstufe II

Die Unterrichtsvorhaben im schulinternen Lehrplan für die Sekundarstufe II haben den Anspruch, dass bei sorgfältiger Durchführung *sämtliche* im Kernlehrplan angeführten Kompetenzen von den Schülerinnen und Schülern erworben werden können.

Im „Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben“ (Kapitel 3.1, 4.1, 4.2) wird die für alle Lehrerinnen und Lehrer gemäß Fachkonferenzbeschluss *verbindliche* Verteilung der Unterrichtsvorhaben dargestellt. Das Übersichtsraster dient dazu, den Kolleginnen und Kollegen einen schnellen Überblick über die Zuordnung der Unterrichtsvorhaben zu den einzelnen Jahrgangsstufen sowie den im Kernlehrplan genannten Kompetenzen, Inhaltsfeldern und inhaltlichen Schwerpunkten sowie in der Fachkonferenz verabredeten verbindlichen Kontexten zu verschaffen. Um Klarheit für die Lehrkräfte herzustellen und die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, werden in der Kategorie „Kompetenzen“ an dieser Stelle nur die übergeordneten Kompetenzerwartungen ausgewiesen, während die konkretisierten Kompetenzerwartungen erst auf der Ebene konkretisierter Unterrichtsvorhaben Berücksichtigung finden. Der ausgewiesene Zeitbedarf versteht sich als Orientierungsgröße, die nach Bedarf über- oder unterschritten werden kann.

Während der Fachkonferenzbeschluss zum „Übersichtsraster Unterrichtsvorhaben“ einschließlich der dort genannten Kontexte zur Gewährleistung vergleichbarer Standards sowie zur Absicherung von Lerngruppenübertritten und Lehrkraftwechseln für alle Mitglieder der Fachkonferenz *bindend* ist, besitzt die Ausweisung „konkretisierter Unterrichtsvorhaben“ (Kapitel 3.2, 4.3, 4.4, Tabellenspalten 3 und 4) *empfehlenden* Charakter, es sei denn, die Verbindlichkeit bestimmter Aspekte ist dort, markiert durch Fettdruck, explizit angegeben. Insbesondere Referendarinnen und Referendaren sowie neuen Kolleginnen und Kollegen dienen die konkretisierten Unterrichtsvorhaben

zur standardbezogenen Orientierung in der neuen Schule, aber auch zur Verdeutlichung von fachgruppeninternen Absprachen zu didaktisch-methodischen Zugängen, fächerübergreifenden Kooperationen, Lernmitteln und –orten. Abweichungen von den empfohlenen Vorgehensweisen bezüglich der konkretisierten Unterrichtsvorhaben sind im Rahmen der pädagogischen Freiheit der Lehrkräfte jederzeit möglich. Sicherzustellen bleibt allerdings auch hier, dass im Rahmen der Umsetzung der Unterrichtsvorhaben insgesamt alle Kompetenzerwartungen erfüllt werden müssen.

Die Unterrichtsvorhaben in der Sekundarstufe II wurden in einer ersten Form auf einer gemeinsamen Physikfachkonferenz des Ratsgymnasiums und des Johann-Conrad-Schlaun-Gymnasiums am 15.6.2015 verabschiedet.

Nach einer Erprobungsphase wurden sie am Ende des Schuljahrs 2015/ 2016 für die Einführungsphase und die Qualifikationsphase 1, am Ende des Schuljahrs 2016/ 2017 für die Qualifikationsphase 2 evaluiert. Es ergaben sich hierbei lediglich Veränderungen in der Reihenfolge der Themen des Leistungskurses.

Auch zukünftig werden die Unterrichtsvorhaben jährlich evaluiert werden.

Das schulinterne Curriculum für die Sekundarstufe I und die Vereinbarungen zur Leistungsbewertung (Qualitätssicherung) liegen vor und stellen eine Ergänzung dieses Curriculums für die Sekundarstufe II dar.

Für die Physikfachkonferenz: Ute Luft *5. Juni 2017*

3. Einführungsphase

3.1 Übersicht über die Unterrichtsvorhaben in der Einführungsphase

Unterrichtsvorhaben der Einführungsphase		
Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
Physik im Straßenverkehr und im Sport Wie lassen sich Bewegungen vermessen und analysieren? Zeitbedarf: **50 Ustd.**	*Mechanik* • Kräfte und Bewegungen • Energie und Impuls	E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation E5 Auswertung E6 Modelle UF2 Auswahl
Auf dem Weg in den Weltraum Wie kommt man zu physikalischen Erkenntnissen über unser Sonnensystem? Zeitbedarf: **30 Ustd.**	*Mechanik* • Gravitation • Kräfte und Bewegungen • Energie und Impuls	UF4 Vernetzung E3 Hypothesen E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen
Schall Wie lässt sich Schall physikalisch untersuchen? Zeitbedarf: 10 Ustd.	*Mechanik* • Schwingungen und Wellen • Kräfte und Bewegungen • Energie und Impuls	E2 Wahrnehmung und Messung UF1 Wiedergabe K1 Dokumentation
Summe Einführungsphase: **90**		

3.2 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben in der Einführungsphase

Inhaltsfeld: *Mechanik*

Kontext: ***Physik im Straßenverkehr und im Sport***

Leitfrage***:*** Wie lassen sich Bewegungen vermessen, analysieren und optimieren?

Inhaltliche Schwerpunkte: Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können …

(K4) physikalische Aussagen und Behauptungen mit sachlich fundierten und überzeugenden Argumenten begründen bzw. kritisieren.
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(UF2)zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(B2) für Bewertungen in physikalisch-technischen Zusammenhängen kriteriengeleitet Argumente abwägen und einen begründeten Standpunkt beziehen

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Beschreibung von Bewegungen im Straßenverkehr (6 Ustd.)	ordnen und strukturieren Bewegungen im Straßen-verkehr (insbesondere Überholvorgänge) nach fachlichen Gesichtspunkten (UF3), stellen Tabellen und sinnvoll skalierte t-s-Diagramme der gleichförmigen Bewegung von Hand und mit digitalen Werkzeugen angemessen präzise dar (K1, K3, E5), untersuchen physikalische Aussagen in Zeitungsartikeln über Verkehrssituationen kritisch (K2, K4).	Videos oder Simulations-programme zu Überholvorgängen Freihand-Trägheitsexperimente Gleichförmige Bewegung auf der Luftkissenfahrbahn GTR und EXCEL zur Darstellung der Graphen	Analyse alltäglicher Bewegungsabläufe, Analyse von Kraftwirkungen auf Körper Erarbeitung der Bewegungsgesetze der gleichförmigen Bewegung Vorstellungen zur Trägheit Diskussion von Alltagsvorstellungen und physikalischen Konzepten

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Beschreibung und Analyse von linearen Bewegungen (10 Ustd.)	unterscheiden gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen und erklären zugrundeliegende Ursachen (UF2), planen selbstständig Experimente zur quantitativen und qualitativen Untersuchung einfacher Zusammenhänge (u.a. zur Analyse von Bewegungen), führen sie durch, werten sie aus und bewerten Ergebnisse und Arbeitsprozesse (E2, E5, B1), stellen Daten in Tabellen und sinnvoll skalierten Diagrammen (u. a. *t-s*- und *t-v*-Diagramme, Vektordiagramme) von Hand und mit digitalen Werkzeugen angemessen präzise dar (K1, K3), erschließen und überprüfen mit Messdaten und Diagrammen funktionale Beziehungen zwischen mechanischen Größen (E5), bestimmen mechanische Größen mit mathematischen Verfahren und mithilfe digitaler Werkzeuge (u.a. Tabellenkalkulation, GTR) (E6), entnehmen Kernaussagen zu naturwissenschaftlichen Positionen zu Beginn der Neuzeit aus einfachen historischen Texten (K2, K4)	Digitale Videoanalyse (z.B. mit *VIANA*, *Tracker*) von Bewegungen im Sport (Fahrradfahrt o. anderes Fahrzeug, Sprint, Flug von Bällen) **Freier Fall** **Freihand-Experimente zur qualitativen Beobachtung von Fallbewegungen (z. B. Stahlkugel, glattes bzw. zur Kugel zusammengedrücktes Papier, evakuiertes Fallrohr mit Feder und Metallstück)** **Bestimmung von g** Textauszüge aus Galileis *Discorsi* zur Mechanik und zu den Fallgesetzen **Luftkissenfahrbahn:** **Messreihe zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung**	Einführung in die Verwendung von digitaler Videoanalyse (Auswertung von Videosequenzen, Darstellung der Messdaten in Tabellen und Diagrammen mithilfe einer Software zur Tabellenkalkulation) Unterscheidung von gleichförmigen und (beliebig) beschleunigten Bewegungen (insb. auch die gleichmäßig beschleunigte Bewegung) Untersuchung gleichmäßig beschleunigter Bewegungen im Labor Erarbeitung der Bewegungsgesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung Erstellung von t-s- und t-v-Diagrammen (auch mithilfe digitaler Hilfsmittel), die Interpretation und Auswertung derartiger Diagramme sollte intensiv geübt werden. Planung von Experimenten durch die Schüler (Auswertung mithilfe der Videoanalyse) Schlussfolgerungen bezüglich des Einflusses der Körpermasse bei Fallvorgängen, auch die Argumentation von Galilei ist besonders gut geeignet, um Argumentationsmuster in Physik explizit zu besprechen

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Newton'sche Gesetze, Kräfte und Bewegung (16 Ustd.)	berechnen mithilfe des Newton'schen Kraftgesetzes Wirkungen einzelner oder mehrerer Kräfte auf Bewegungszustände und sagen sie unter dem Aspekt der Kausalität vorher (E6), entscheiden begründet, welche Größen bei der Analyse von Bewegungen zu berücksichtigen oder zu vernachlässigen sind (E1, E4), reflektieren Regeln des Experimentierens in der Planung und Auswertung von Versuchen (u. a. Zielorientierung, Sicherheit, Variablenkontrolle, Kontrolle von Störungen und Fehlerquellen) (E2, E4), geben Kriterien (u.a. Objektivität, Reproduzierbarkeit, Widerspruchsfreiheit, Überprüfbarkeit) an, um die Zuverlässigkeit von Messergebnissen und physikalischen Aussagen zu beurteilen, und nutzen diese bei der Bewertung von eigenen und fremden Untersuchungen (B1), vereinfachen komplexe Bewegungs- und Gleichgewichtszustände durch Komponentenzerlegung bzw. Vektoraddition (E1),	**Luftkissenfahrbahn:** **Messung der Beschleunigung eines Körpers in Abhängigkeit von der beschleunigenden Kraft** **Bewegung auf einer schiefen Ebene (mit Reibung)** **Wurfbewegungen** Basketball, Korbwurf, Abstoß beim Fußball, günstigster Winkel	Kennzeichen von Laborexperimenten im Vergleich zu natürlichen Vorgängen besprechen, Ausschalten bzw. Kontrolle bzw. Vernachlässigen von Störungen Erarbeitung des Newton'schen Bewegungsgesetzes Definition der Kraft als Erweiterung des Kraftbegriffs aus der Sekundarstufe I Berechnung von Kräften und Beschleunigungen bei verschiedenen Sportarten und im Straßenverkehr, insbesondere bei Bremsvorgängen Einfluss von Reibungskräften Wesentlich: Erarbeitung des Superpositions-prinzips (Komponentenzerlegung und Addition vektorieller Größen), auch Gleichung für die Bahnkurve beim horizontalen Wurf

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Energie und Leistung Impuls (18 Ustd.)	erläutern die Größen Position, Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Kraft, Arbeit, Energie, Impuls und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen (UF2, UF4), analysieren in verschiedenen Kontexten Bewegungen qualitativ und quantitativ sowohl aus einer Wechselwirkungsperspektive als auch aus einer energetischen Sicht (E1, UF1), verwenden Erhaltungssätze (Energie- und Impulsbilanzen), um Bewegungszustände zu erklären sowie Bewegungsgrößen zu berechnen (E3, E6), beschreiben eindimensionale Stoßvorgänge mit Wechselwirkungen und Impulsänderungen (UF1), begründen argumentativ Sachaussagen, Behauptungen und Vermutungen zu mechanischen Vorgängen und ziehen dabei erarbeitetes Wissen sowie Messergebnisse oder andere objektive Daten heran (K4), bewerten begründet die Darstellung bekannter mechanischer und anderer physikalischer Phänomene in verschiedenen Medien (Printmedien, Filme, Internet) bezüglich ihrer Relevanz und Richtigkeit (K2, K4),	Fadenpendel (Schaukel) Sportvideos Videos von Crash-Tests	Begriffe der Arbeit und der Energie aus der SI aufgreifen und wiederholen Deduktive Herleitung der Formeln für die mechanischen Energiearten aus den Newton‘schen Gesetzen und der Definition der Arbeit Energieerhaltung an Beispielen (Pendel, Achterbahn, Halfpipe) erarbeiten und für Berechnungen nutzen Energetische Analysen in verschiedenen Sportarten (Hochsprung, Turmspringen, Turnen, Stabhochsprung, Bobfahren, Skisprung) und im Straßenverkehr Begriff des Impulses und Impuls als Erhaltungsgröße Elastischer und inelastischer Stoß auch an anschaulichen Beispielen aus dem Sport (z.B. Impulserhaltung bei Ballsportarten, Kopfball beim Fußball, Kampfsport) Hinweis: Erweiterung des Impulsbegriffs am Ende des Kontextes „Auf dem Weg in den Weltraum“
50 Ustd	**Summe**		

Kontext: ***Auf dem Weg in den Weltraum***
Leitfrage: Wie kommt man zu physikalischen Erkenntnissen über unser Sonnensystem?
Inhaltliche Schwerpunkte: Gravitation, Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(E3) mit Bezug auf Theorien, Modelle und Gesetzmäßigkeiten auf deduktive Weise Hypothesen generieren sowie Verfahren zu ihrer Überprüfung ableiten,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Kreisbewegungen (10 Ustd.)	analysieren und berechnen auftretende Kräfte bei Kreisbewegungen (E6),	**Messung der Zentralkraft** **An dieser Stelle sollen das experimentell-erkundende Verfahren am Beispiel der Herleitung der Gleichung für die Zentripetalkraft als eine wesentliche Erkenntnismethoden der Physik bearbeitet werden.** Das deduktive Verfahren kann ergänzend vorgestellt werden.	Beschreibung von gleichförmigen Kreisbewegungen, Winkelgeschwindigkeit, Periode, Bahngeschwindigkeit, Frequenz Experimentell-erkundende Erarbeitung der Formeln für Zentripetalkraft und Zentripetalbeschleunigung: Herausstellen der Notwendigkeit der Konstanthaltung der restlichen Größen bei der experimentellen Bestimmung einer von mehreren anderen Größen abhängigen physikalischen Größe Ergänzend: Deduktion der Formel für die Zentripetalbeschleunigung Anwendung zur Bestimmung von Kräften bei bestimmten Sportarten (Hammerwurf, Eisschnelllauf) oder im Straßenverkehr (Kurvenfahrt)

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Aristotelisches Weltbild, Kopernikanische Wende (2 Ustd.)	stellen Änderungen in den Vorstellungen zu Bewegungen und zum Sonnensystem beim Übergang vom Mittelalter zur Neuzeit dar (UF3, E7),	Arbeit mit dem Lehrbuch/ Recherche im Internet: Geozentrisches und heliozentrisches Weltbild	Einstieg über Film zur Entwicklung des Raketenbaus und der Weltraumfahrt Besuch des Planetariums Beobachtungen am Himmel Historie: Verschiedene Möglichkeiten der Interpretation der Beobachtungen Bestimmung von Mond- und Sonnenentfernung mit Hilfe geometrischer Uberlegungen
Planetenbewegungen und Kepler'sche Gesetze (4 Ustd.)	ermitteln mithilfe der Kepler´schen Gesetze (und des Gravitationsgesetzes) astronomische Größen (E6), beschreiben an Beispielen Veränderungen im Weltbild und in der Arbeitsweise der Naturwissenschaften, die durch die Arbeiten von Kopernikus, Kepler, Galilei und Newton initiiert wurden (E7, B3).	Drehbare Sternkarte und aktuelle astronomische Tabellen Animationen zur Darstellung der Planetenbewegungen Erstellung einer Power-Point-Präsentation	Orientierung am Himmel Beobachtungsaufgabe: Finden von Planeten am Nachthimmel Tycho Brahes Messungen, Keplers Schlussfolgerungen Benutzung geeigneter Apps
Newton'sches Gravitationsgesetz, Gravitationsfeld (10Ustd.)	ermitteln mithilfe (der Kepler´schen Gesetze und) des Gravitationsgesetzes astronomische Größen (E6), beschreiben Wechselwirkungen im Gravitationsfeld und verdeutlichen den Unterschied zwischen Feldkonzept und Kraftkonzept (UF2, E6),	**Experiment: Bestimmung der Gravitationskonstanten mit der Cavendish-Torsionswaage** Einsatz des GTR zur Bestimmung des Integrals	Newton'sches Gravitationsgesetz als Zusammenfassung bzw. Äquivalent der Kepler'schen Gesetze Newton'sche „Mondrechnung" Anwendung des Newton'schen Gravitationsgesetzes zur Berechnung von astronomischen Größen Energie im Gravitationsfeld Fluchtgeschwindigkeiten Bahnen von Satelliten und Planeten Feldbegriff diskutieren, Definition der Feldstärke über Messvorschrift „Kraft auf Probekörper"

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Impuls und Impulserhaltung, Rückstoß (4 Ustd.)	verwenden Erhaltungssätze (Energie- und Impulsbilanzen), um Bewegungszustände zu erklären sowie Bewegungsgrößen zu berechnen (E3, E6), erläutern unterschiedliche Positionen zum Sinn aktueller Forschungsprogramme (z.B. Raumfahrt, Mobilität) und beziehen Stellung dazu (B2, B3).	Skateboards und Medizinball Wasserrakete Raketentriebwerke für Modellraketen Recherchen zu aktuellen Projekten von ESA und DLR, auch zur Finanzierung	Impuls und Rückstoß Bewegung einer Rakete im luftleeren Raum Untersuchungen mit einer Wasserrakete, Simulation des Fluges einer Rakete in einer Excel-Tabelle Debatte über wissenschaftlichen Wert sowie Kosten und Nutzen ausgewählter Programme
30 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Schall***

Leitfrage: Wie lässt sich Schall physikalisch untersuchen?

Inhaltliche Schwerpunkte: Schwingungen und Wellen, Kräfte und Bewegungen, Energie und Impuls

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien/Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(K1) Fragestellungen, Untersuchungen, Experimente und Daten nach gegebenen Strukturen dokumentieren und stimmig rekonstruieren, auch mit Unterstützung digitaler Werkzeuge

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Entstehung und Ausbreitung von Schall (4 Ustd.)	erklären qualitativ die Ausbreitung mechanischer Wellen (Transversal- oder Longitudinalwelle) mit Eigenschaften des Ausbreitungsmediums (E6),	Stimmgabeln, Lautsprecher, Frequenzgenerator, Frequenzmessgerät, Schallpegelmesser, rußgeschwärzte Glasplatte, Schreibstimmgabel, Klingel und Vakuumglocke	Erarbeitung der Grundgrößen zur Beschreibung von Schwingungen und Wellen: Frequenz (Periode) und Amplitude mittels der Höreindrücke des Menschen
Modelle der Wellenausbreitung (4 Ustd.)	beschreiben Schwingungen und Wellen als Störungen eines Gleichgewichts und identifizieren die dabei auftretenden Kräfte (UF1, UF4), erklären qualitativ die Ausbreitung mechanischer Wellen (Transversal- oder Longitudinalwelle) mit Eigenschaften des Ausbreitungsmediums (E6),	**Lange Schraubenfeder**, **Wellenwanne**	Entstehung von Longitudinal- und Transversalwellen Ausbreitungsmedium, Möglichkeit der Ausbreitung longitudinaler. bzw. transversaler Schallwellen in Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern
Erzwungene Schwingungen und Resonanz (2 Ustd.)	erläutern das Auftreten von Resonanz mithilfe von Wechselwirkung und Energie (UF1).	Stimmgabeln, Video Tacoma-Bridge	Resonanz (auch Tacoma-Bridge, Millennium-Bridge) Resonanzkörper von Musikinstrumenten
10 Ustd.	**Summe**		

4. Qualifikationsphase

4.1 Übersicht über die Unterrichtsvorhaben im Leistungskurs

Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS		
Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
Untersuchung von Elektronen Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden? Zeitbedarf: 24 Ustd.	*Elektrik* • Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder • Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern	UF1 Wiedergabe UF2 Auswahl E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien B4 Möglichkeiten und Grenzen
Aufbau und Funktionsweise wichtiger Versuchs- und Messapparaturen Wie und warum werden physikalische Größen meistens elektrisch erfasst und wie werden sie verarbeitet? Zeitbedarf: 22 Ustd.	*Elektrik* • Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder • Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern	UF2 Auswahl UF4 Vernetzung E1 Probleme und Fragestellungen E5 Auswertung E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien B4 Möglichkeiten und Grenzen
Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden? Zeitbedarf: 22 Ustd.	*Elektrik* • Elektromagnetische Induktion	UF2 Auswahl E6 Modelle B4 Möglichkeiten und Grenzen
Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübermittlung Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden? Zeitbedarf: 28 Ustd.	*Elektrik* • Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	UF1 Wiedergabe UF2 Auswahl E4 Untersuchungen und Experimente E5 Auswertung E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien B4 Möglichkeiten und Grenzen

Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q2) – LEISTUNGSKURS

Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
Erforschung des Photons Besteht Licht doch aus Teilchen? Zeitbedarf: 10 Ustd.	*Quantenphysik* • Licht und Elektronen als Quantenobjekte • Welle-Teilchen-Dualismus • Quantenphysik und klassische Physik	UF2 Auswahl E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen
Röntgenstrahlung, Erforschung des Photons Was ist Röntgenstrahlung? Zeitbedarf: 9 Ustd.	*Quantenphysik* • Licht und Elektronen als Quantenobjekte	UF1 Wiedergabe E6 Modelle
Erforschung des Elektrons Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden? Zeitbedarf: 6 Ustd.	*Quantenphysik* • Welle-Teilchen-Dualismus	UF1 Wiedergabe K3 Präsentation
Summe Qualifikationsphase (Q1) – LEISTUNGSKURS: 121 Stunden		

Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
Die Welt kleinster Dimensionen – Mikroobjekte und Quantentheorie Was ist anders im Mikrokosmos? Zeitbedarf: 10 Ustd.	*Quantenphysik* • Welle-Teilchen-Dualismus und Wahrscheinlichkeitsinterpretation • Quantenphysik und klassische Physik	UF1 Wiedergabe E7 Arbeits- und Denkweisen
Satellitennavigation – Zeitmessung ist nicht absolut Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit? Zeitbedarf: 4 Ustd.	*Relativitätstheorie* • Konstanz der Lichtgeschwindigkeit • Problem der Gleichzeitigkeit	UF2 Auswahl E6 Modelle
Höhenstrahlung Warum erreichen Myonen aus der oberen Atmosphäre die Erdoberfläche? Zeitbedarf: 4 Ustd.	*Relativitätstheorie* • Zeitdilatation und Längenkontraktion	E5 Auswertung K3 Präsentation
Teilchenbeschleuniger - Warum Teilchen aus dem Takt geraten Ist die Masse bewegter Teilchen konstant? Zeitbedarf: 8 Ustd.	*Relativitätstheorie* • Relativistische Massenzunahme • Energie-Masse-Beziehung	UF4 Vernetzung B1 Kriterien
Satellitennavigation – Zeitmessung unter dem Einfluss von Geschwindigkeit und Gravitation Beeinflusst Gravitation den Ablauf der Zeit? Zeitbedarf: 4 Ustd.	*Relativitätstheorie* • Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung	K3 Präsentation
Das heutige Weltbild Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt? Zeitbedarf: 2 Ustd.	*Relativitätstheorie* • Konstanz der Lichtgeschwindigkeit • Problem der Gleichzeitigkeit • Zeitdilatation und Längenkontraktion • Relativistische Massenzunahme • Energie-Masse-Beziehung • Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung	B4 Möglichkeiten und Grenzen

Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
Geschichte der Atommodelle, Lichtquellen und ihr Licht Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?	*Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik* • Atomaufbau	UF1 Wiedergabe E5 Auswertung E7 Arbeits- und Denkweisen

Zeitbedarf: 10 Ustd.		
Physik in der Medizin (Bildgebende Verfahren, Radiologie) Wie nutzt man Strahlung in der Medizin? Zeitbedarf: 14 Ustd.	*Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik* • Ionisierende Strahlung • Radioaktiver Zerfall	UF3 Systematisierung E6 Modelle UF4 Vernetzung
(Erdgeschichtliche) Altersbestimmungen Wie funktioniert die ^{14}C-Methode? Zeitbedarf: 10 Ustd.	*Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik* • Radioaktiver Zerfall	UF2 Auswahl E5 Auswertung
Energiegewinnung durch nukleare Prozesse Wie funktioniert ein Kernkraftwerk? Zeitbedarf: 11 Ustd.	*Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik* • Kernspaltung und Kernfusion • Ionisierende Strahlung	B1 Kriterien UF4 Vernetzung
Forschung am CERN und DESY – Elementarteilchen und ihre fundamentalen Wechselwirkungen Was sind die kleinsten Bausteine der Materie? Zeitbedarf: 11 Ustd.	*Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik* • Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen	UF3 Systematisierung K2 Recherche
Summe Qualifikationsphase (Q2) – LEISTUNGSKURS: 88 Stunden		

4.2 Übersicht über die Unterrichtsvorhaben im Grundkurs

Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q1) – GRUNDKURS

Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
Erforschung des Lichts I / II Wie kann das Verhalten von Licht beschrieben und erklärt werden? Zeitbedarf: 14 Ustd./ 6 Ustd.	*Quantenobjekte* • Licht als elektromagnetische Welle • Licht als Photon	E2 Wahrnehmung und Messung E5 Auswertung K3 Präsentation
Erforschung des Elektrons I/ II Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden? Zeitbedarf: 24 Ustd./ 6 Ustd.	*Quantenobjekte* • Elektron als Teilchen • Elektron mit de-Broglie-Wellenlänge	UF1 Wiedergabe UF3 Systematisierung E5 Auswertung E6 Modelle
Photonen und Elektronen als Quantenobjekte Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden? Zeitbedarf: 6 Ustd.	*Quantenobjekte* • Elektron und Photon (Teilchenaspekt, Wellenaspekt) • Quantenobjekte und ihre Eigenschaften	E6 Modelle E7 Arbeits- und Denkweisen K4 Argumentation B4 Möglichkeiten und Grenzen
Erzeugung und Nutzung elektrischer Energie in unserer Gesellschaft Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden? Zeitbedarf: 21 Ustd.	*Elektrodynamik* • Spannung und elektrische Energie • Induktion • Spannungswandlung	UF2 Auswahl UF4 Vernetzung E2 Wahrnehmung und Messung E5 Auswertung E6 Modelle K3 Präsentation B1 Kriterien
Wirbelströme im Alltag Wie kann man Wirbelströme technisch nutzen? Zeitbedarf: 4 Ustd.	*Elektrodynamik* • Induktion	UF4 Vernetzung E5 Auswertung B1 Kriterien
Summe Qualifikationsphase (Q1) – GRUNDKURS: 81 Stunden		

Unterrichtsvorhaben der Qualifikationsphase (Q2) – GRUNDKURS

Kontext und Leitfrage	Inhaltsfelder, Inhaltliche Schwerpunkte	Kompetenzschwerpunkte
Erforschung des Mikro- und Makrokosmos Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie? Zeitbedarf: 16 Ustd.	*Strahlung und Materie* • Energiequantelung der Atomhülle • Spektrum der elektromagnetischen Strahlung	UF1 Wiedergabe E5 Auswertung E2 Wahrnehmung und Messung
Mensch und Strahlung Wie wirkt Strahlung auf den Menschen? Zeitbedarf: 12 Ustd.	*Strahlung und Materie* • Kernumwandlungen • Ionisierende Strahlung • Spektrum der elektromagnetischen Strahlung	UF1 Wiedergabe B3 Werte und Normen B4 Möglichkeiten und Grenzen
Forschung am CERN und DESY Was sind die kleinsten Bausteine der Materie? Zeitbedarf: 6 Ustd.	*Strahlung und Materie* • Standardmodell der Elementarteilchen	UF3 Systematisierung E6 Modelle
Navigationssysteme Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit? Zeitbedarf: 6 Ustd.	*Relativität von Raum und Zeit* • Konstanz der Lichtgeschwindigkeit • Zeitdilatation	UF1 Wiedergabe E6 Modelle
Teilchenbeschleuniger Ist die Masse bewegter Teilchen konstant? Zeitbedarf: 6 Ustd.	*Relativität von Raum und Zeit* • Veränderlichkeit der Masse • Energie-Masse Äquivalenz	UF4 Vernetzung B1 Kriterien
Das heutige Weltbild Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt? Zeitbedarf: 2 Ustd.	*Relativität von Raum und Zeit* • Konstanz der Lichtgeschwindigkeit • Zeitdilatation • Veränderlichkeit der Masse • Energie-Masse Äquivalenz	E7 Arbeits- und Denkweisen K3 Präsentation
Summe Qualifikationsphase (Q2) – GRUNDKURS: 58 Stunden		

4.3 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben im Leistungskurs

Inhaltsfeld: *Elektrik (LK)*

Kontext: *Untersuchung von Elektronen*

Leitfrage: Wie können physikalische Eigenschaften wie die Ladung und die Masse eines Elektrons gemessen werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder, Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Grundlagen: Ladungstrennung, Ladungsträger (4 Ustd.)	erklären elektrostatische Phänomene und Influenz mithilfe grundlegender Eigenschaften elektrischer Ladungen (UF2, E6),	einfache Versuche zur Reibungselektrizität – Anziehung / Abstoßung, halbquantitative Versuche mit Hilfe eines Elektrometerverstärkers: Zwei aneinander geriebene Kunststoffstäbe aus unterschiedlichen Materialien tragen betragsmäßig gleiche, aber entgegen gesetzte Ladungen, Influenzversuche	An dieser Stelle sollte ein Rückgriff auf die S I erfolgen. Das Elektron soll als (ein) Träger der negativen Ladung benannt und seine Eigenschaften untersucht werden.
Bestimmung der Elementarladung: elektrische Felder, Feldlinien potentielle Energie im elektrischen Feld, Spannung Kondensator Elementarladung (10 Ustd.)	beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der entsprechenden Feldstärken (UF2, UF1), erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4),	Prinzipieller Aufbau des Millikan-versuchs, realer Versuchsaufbau oder entsprechende Medien z. B: RCL (remote control laboratory), Bestimmung der Elementarladung mit dem Millikanversuch einfache Versuche und visuelle Medien zur Veranschaulichung elektrischer Felder im Feldlinienmodell, Plattenkondensator (homogenes E-Feld),	Die Versuchsidee „eines“ Millikanversuchs wird erarbeitet. Der Begriff des elektrischen Feldes und das Feldlinienmodell werden eingeführt. Die elektrische Feldstärke in einem Punkt eines elektrischen Feldes, der Begriff „homogenes Feld“ und die Spannung werden definiert.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
	leiten physikalische Gesetze (u.a. die im homogenen elektrischen Feld gültige Beziehung zwischen Spannung und Feldstärke und den Term für die Lorentzkraft) aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2), entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),	evtl. Apparatur zur Messung der Feldstärke gemäß der Definition, Spannungsmessung am Plattenkondensator,	Zusammenhang zwischen E und U im homogenen Feld Bestimmung der Elementarladung mit Diskussion der Messgenauigkeit An dieser Stelle sollten Übungsaufgaben erfolgen, z.B. auch zum Coulomb'schen Gesetz. Dieses kann auch nur per Plausibilitätsbetrachtung eingeführt werden.
Bestimmung der Masse eines Elektrons: magnetische Felder, Feldlinien, potentielle Energie im elektrischen Feld, Energie bewegter Ladungsträger, Elektronenmasse (10 Ustd.)	erläutern an Beispielen den Stellenwert experimenteller Verfahren bei der Definition physikalischer Größen (elektrische und magnetische Feldstärke) und geben Kriterien zu deren Beurteilung an (z.B. Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Unabhängigkeit von Ort und Zeit) (B1, B4), treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1), beschreiben qualitativ die Erzeugung eines Elektronenstrahls in einer Elektronenstrahlröhre (UF1, K3), ermitteln die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer Spannung (UF2, UF4, B1),	Stromwaage zur Demonstration der Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld sowie zur Veranschaulichung der Definition der magnetischen Feldstärke, Versuche mit z.B. Oszilloskop, Fadenstrahlrohr zur Demonstration der Lorentzkraft, Fadenstrahlrohr zur *e*/*m* – Bestimmung	Die Frage nach der Masse eines Elektrons führt zu weiteren Überlegungen. Als Versuchsidee wird (evtl. in Anlehnung an astronomischen Berechnungen in der EF) die Auswertung der Daten einer erzwungenen Kreisbewegung des Teilchens erarbeitet. Dazu wird der Begriff des magnetischen Feldes eingeführt sowie die Veranschaulichung magnetischer Felder (inkl. Feldlinienmodell) erarbeitet. Definition der magnetischen Feldstärke, Definition des homogenen Magnetfeldes, Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld, Herleitung der Formel für die Lorentzkraft,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
	erläutern den Feldbegriff und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld auf (UF3, E6), entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1), erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4), bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6), leiten physikalische Gesetze (Term für die Lorentzkraft) aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2), beschreiben qualitativ und quantitativ die Bewegung von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern sowie in gekreuzten Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt) (E1, E2, E3, E4, E5 UF1, UF4), schließen aus spezifischen Bahnkurvendaten bei der e/m-Bestimmung und beim Massenspektrometer auf wirkende Kräfte sowie Eigenschaften von Feldern und bewegten Ladungsträgern (E5, UF2),		Ein Verfahren zur Beschleunigung der Elektronen sowie zur Bestimmung ihrer Geschwindigkeit wird erarbeitet.
24 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Aufbau und Funktionsweise wichtiger Versuchs- und Messapparaturen***

Leitfrage: Wie und warum werden physikalische Größen meistens elektrisch erfasst und wie werden sie verarbeitet?

Inhaltliche Schwerpunkte: Eigenschaften elektrischer Ladungen und ihrer Felder ,Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,

(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.

(E1) in unterschiedlichen Kontexten physikalische Probleme identifizieren, analysieren und in Form physikalischer Fragestellungen präzisieren,

(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,

(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,

(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Anwendungen in Forschung und Technik: Bewegung von Ladungsträgern in Feldern (12 Ustd.)	beschreiben qualitativ und quantitativ die Bewegung von Ladungsträgern in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern sowie in gekreuzten Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt) (E1, E2, E3, E4, E5 UF1, UF4), erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrik (K1, K3, UF3), beschreiben qualitativ die Erzeugung eines Elektronenstrahls in einer Elektronenstrahlröhre (UF1, K3), ermitteln die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer Spannung (UF2, UF4, B1), schließen aus spezifischen Bahnkurvendaten beim Massenspektrometer auf wirkende Kräfte sowie Eigenschaften von Feldern und bewegten Ladungsträgern, (E5, UF2), erläutern den Feldbegriff und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld auf (UF3, E6), leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2), entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1), wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u.a. Coulomb'sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen *E*-Feld) problembezogen aus (UF2),	Hallsonde, Halleffektgerät, diverse Spulen, deren Felder vermessen werden (insbesondere lange Spulen und Helmholtzspulen), Elektronenstrahlablenkröhre visuelle Medien und Computersimulationen (ggf. RCLs) zum Massenspektrometer, Zyklotron und evtl. weiteren Teilchenbeschleunigern	Das Problem der Messung der Stärke des magnetischen Feldes der Helmholtzspulen (e/m – Bestimmung) wird wieder aufgegriffen, Vorstellung des Aufbaus einer Hallsonde und Erarbeitung der Funktionsweise einer Hallsonde, Veranschaulichung mit dem Halleffektgerät (Silber), Kalibrierung einer Hallsonde, Messungen mit der Hallsonde, u. a. nachträgliche Vermessung des Helmholtzspulenfeldes, Bestimmung der magnetischen Feldkonstante, Arbeits- und Funktionsweisen sowie die Verwendungszwecke diverser Elektronenröhren, Teilchenbeschleuniger und eines Massenspektrometers werden untersucht. Relativistische Betrachtungen folgen im entsprechenden später liegenden Unterrichtsabschnitt.

Moderne messtechnische Verfahren sowie Hilfsmittel zur Mathematisierung: Auf- und Entladung von Kondensatoren, Energie des elektrischen Feldes (10 Ustd.)	erläutern an Beispielen den Stellenwert experimenteller Verfahren bei der Definition physikalischer Größen (elektrische und magnetische Feldstärke) und geben Kriterien zu deren Beurteilung an (z.B. Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Unabhängigkeit von Ort und Zeit) (B1, B4), erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinien-modelle zur Veranschaulichung typischer Felder und interpretieren Feldlinienbilder (K3, E6, B4), ermitteln die in elektrischen bzw. magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Kondensator) (UF2), beschreiben qualitativ und quantitativ, bei vorgegebenen Lösungsansätzen, Ladungs- und Entladungsvorgänge in Kondensatoren (E4, E5, E6), treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1), wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung und Auswertung von Messwerten im Bereich der Elektrik (auch computergestützte graphische Darstellungen, Linearisierungs-verfahren, Kurvenanpassungen), wenden diese an und bewerten die Güte der Messergebnisse (E5, B4),	diverse Kondensatoren (als Ladungs-/ Energiespeicher), Aufbaukondensatoren mit der Möglichkeit die Plattenfläche und den Plattenabstand zu variieren, statische Voltmeter bzw. Elektrometermessverstärker, Schülerversuche zur Auf- und Entladung von Kondensatoren sowohl mit großen Kapazitäten (Messungen mit Multimeter) als auch mit kleineren Kapazitäten (Messungen mit Hilfe von Messwerterfassungssystemen), Computer oder GTR/CAS-Rechner zur Messwertverarbeitung	Kondensatoren werden als Ladungs-/ Energiespeicher vorgestellt (z.B. bei elektronischen Geräten wie Computern). Die (Speicher-) Kapazität wird definiert und der Zusammenhang zwischen Kapazität, Plattenabstand und Plattenfläche für den Plattenkondensator (deduktiv mit Hilfe der Grundgleichung des elektrischen Feldes) ermittelt. Plausibilitätsbetrachtung zur Grund-gleichung des elektrischen Feldes im Feldlinienmodell, Ermittlung der elektrischen Feldkonstante (evtl. Messung), Auf- und Entladevorgänge bei Kondensatoren werden messtechnisch erfasst, computerbasiert ausgewertet und mithilfe von Differentialgleichungen beschrieben. deduktive Herleitung der im elektrischen Feld eines Kondensators gespeicherten elektrischen Energie
22 Ustd.	**Summe**		

Kontext: *Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie*

Leitfrage: Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Elektromagnetische Induktion

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Induktion, das grundlegende Prinzip bei der Versorgung mit elektrischer Energie: Induktionsvorgänge, Induktionsgesetz, Lenz‘sche Regel, Energie des magnetischen Feldes (22 Ustd.)	entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1), wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u.a. Coulomb’sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen E-Feld) problembezogen aus (UF2), leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2), planen und realisieren Experimente zum Nachweis der Teilaussagen des Induktionsgesetzes (E2, E4, E5), führen das Auftreten einer Induktionsspannung auf die zeitliche Änderung der von einem Leiter überstrichenen gerichteten Fläche in einem Magnetfeld zurück (u.a. bei der Erzeugung einer Wechselspannung) (E6), erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrik (K1, K3, UF3),	Medien zur Information über prinzipielle Verfahren zur Erzeugung, Verteilung und Bereitstellung elektrischer Energie, Bewegung eines Leiters im Magnetfeld - Leiterschaukel, einfaches elektrodynamisches Mikrofon, Gleich- und Wechsel-spannungsgeneratoren (vereinfachte Funktionsmodelle für Unterrichtszwecke) quantitativer Versuch zur elektromagnetischen Induktion bei Änderung der Feldgröße B, registrierende Messung von B(t) und $U_{ind}(t)$, „Aufbau-“ Transformatoren zur Spannungswandlung	Leiterschaukelversuch evtl. auch im Hinblick auf die Registrierung einer gedämpften mechanischen Schwingung auswertbar, Gleich- und Wechselspannungsgeneratoren werden nur qualitativ behandelt. Das Induktionsgesetz in seiner allgemeinen Form wird erarbeitet: 1. Flächenänderung (deduktive Herleitung) 2. Änderung der Feldgröße *B* (quantitatives Experiment) Drehung einer Leiterschleife (qualitative Betrachtung) Der magnetische Fluss wird definiert, das Induktionsgesetz als Zusammenfassung und Verallgemeinerung der Ergebnisse formuliert. qualitative Deutung des Versuchsergebnisses zur Selbstinduktion

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
	identifizieren Induktionsvorgänge aufgrund der zeitlichen Änderung der magnetischen Feldgröße B in Anwendungs- und Alltagssituationen (E1, E6, UF4) wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung und Auswertung von Messwerten im Bereich der Elektrik (auch computer-gestützte graphische Darstellungen, Linearisierungsverfahren, Kurvenanpassungen), wenden diese an und bewerten die Güte der Messergebnisse (E5, B4), ermitteln die in magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Spule) (UF2), bestimmen die Richtungen von Induktionsströmen mithilfe der Lenz'schen Regel (UF2, UF4, E6), begründen die Lenz'sche Regel mithilfe des Energie- und des Wechselwirkungskonzeptes (E6, K4),	Modellversuch zu einer „Überlandleitung“ (aus CrNi-Draht) mit zwei „Trafo-Stationen“, zur Untersuchung der Energieverluste bei unterschiedlich hohen Spannungen, Versuch (qualitativ und quantitativ) zur Demonstration der Selbstinduktion (registrierende Messung und Vergleich der Ein- und Ausschaltströme in parallelen Stromkreisen mit rein ohmscher bzw. mit induktiver Last), Versuche zur Demonstration der Wirkung von Wirbelströmen, diverse „Ringversuche“	Deduktive Herleitung des Terms für die Selbstinduktionsspannung einer langen Spule (ausgehend vom Induktionsgesetz), Interpretation des Vorzeichens mit Hilfe der Lenz'schen Regel Definition der Induktivität, messtechnische Erfassung und computerbasierte Auswertung von Ein- und Ausschaltvorgängen bei Spulen deduktive Herleitung der im magnetischen Feld einer Spule gespeicherten magnetischen Energie
22 Ustd.	**Summe**		

Kontext: *Physikalische Grundlagen der drahtlosen Nachrichtenübermittlung*

Leitfrage: Wie können Nachrichten ohne Materietransport übermittelt werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E4) Experimente mit komplexen Versuchsplänen und Versuchsaufbauten, auch historisch bedeutsame Experimente, mit Bezug auf ihre Zielsetzungen erläutern und diese zielbezogen unter Beachtung fachlicher Qualitätskriterien durchführen,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Der elektromagnetische Schwingkreis – das Basiselement der Nachrichtentechnik: Elektromagnetische Schwingungen im RLC-Kreis, Energieumwandlungsprozesse im RLC-Kreis (12 Ustd.)	erläutern die Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen, erstellen aussagekräftige Diagramme und werten diese aus (E2, E4, E5, B1), treffen im Bereich Elektrik Entscheidungen für die Auswahl von Messgeräten (Empfindlichkeit, Genauigkeit, Auflösung und Messrate) im Hinblick auf eine vorgegebene Problemstellung (B1), erläutern qualitativ die bei einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung in der Spule und am Kondensator ablaufenden physikalischen Prozesse (UF1, UF2), beschreiben den Schwingvorgang im RLC-Kreis qualitativ als Energieumwandlungsprozess und benennen wesentliche Ursachen für die Dämpfung (UF1, UF2, E5),	elektromagnetischer Schwingkreis als „Herzstück“ der Sender bzw. Empfänger elektromagnetischer Wellen einfache Resonanzversuche (auch aus der Mechanik / Akustik),	Die Analogie des elektromagnetischen Schwingkreises zu mechanischen Resonanzversuchen wird aufgezeigt.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
	wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung und Auswertung von Messwerten im Bereich der Elektrik (auch computer-gestützte graphische Darstellungen, Linearisierungsverfahren, Kurvenanpassungen), wenden diese an und bewerten die Güte der Messergebnisse (E5, B4), entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1),	RLC - Serienschwingkreis insbesondere mit registrierenden Messverfahren und computergestützten Auswerteverfahren, ggf. Meißner- oder Dreipunkt-Rückkopplungsschaltung zur Erzeugung / Demonstration entdämpfter elektromagnetischer Schwingungen	Die zentrale Funktionseinheit „Schwingkreis“ wird genauer untersucht. Spannungen und Ströme im RCL – Kreis werden zeitaufgelöst registriert, die Diagramme sind Grundlage für die qualitative Beschreibung der Vorgänge in Spule und Kondensator. Quantitativ wird nur die ungedämpfte Schwingung beschrieben (inkl. der Herleitung der Thomsonformel).
	wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze problembezogen aus (UF2), leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2).		Die Möglichkeiten zur mathematischen Beschreibung gedämpfter Schwingungen sowie Möglichkeiten der Entdämpfung / Rückkopplung können kurz und rein qualitativ angesprochen werden.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Materiefreie Übertragung von Information und Energie: Entstehung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, Energietransport und Informationsübertragung durch elektromagnetische Wellen, (16 Ustd.)	beschreiben den Hertz'schen Dipol als einen (offenen) Schwingkreis (UF1, UF2, E6), erläutern qualitativ die Entstehung eines elektrischen bzw. magnetischen Wirbelfelds bei *B*- bzw. *E*-Feldänderung und die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle (UF1, UF4, E6), beschreiben qualitativ die lineare Ausbreitung harmonischer Wellen als räumlich und zeitlich periodischen Vorgang (UF1, E6), erläutern anhand schematischer Darstellungen Grundzüge der Nutzung elektromagnetischer Trägerwellen zur Übertragung von Informationen (K2, K3, E6). ermitteln auf der Grundlage von Brechungs-, Beugungs- und Interferenzerscheinungen (mit Licht- und Mikrowellen) die Wellenlängen und die Lichtgeschwindigkeit (E2, E4, E5). beschreiben die Phänomene Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz im Wellenmodell und begründen sie qualitativ mithilfe des Huygens'schen Prinzips (UF1, E6). erläutern konstruktive und destruktive Interferenz sowie die entsprechenden Bedingungen mithilfe geeigneter Darstellungen (K3, UF1),	L-C-Kreis, der sich mit einem magnetischen Wechselfeld über eine „Antenne" zu Schwingungen anregen lässt, dm-Wellen-Sender mit Zubehör (Empfängerdipol, Feldindikatorlampe), Visuelle Medien zur Veranschaulichung der zeitlichen Änderung der E- und B-Felder beim Hertz'schen Dipol, entsprechende Computersimulationen, Ringentladungsröhre (zur Vertiefung der elektromagnetischen Induktion), visuelle Medien zur magneto-elektrischen Induktion, Visuelle Medien zur Veranschaulichung der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle, entsprechende Computersimulationen, Versuche mit dem dm-Wellen-Sender (s.o.),	Erinnerung an die Anregung des MW-Radio-Schwingkreises durch „Radiowellen" zur Motivation der Erforschung sogenannter elektromagnetischer Wellen, Das Phänomen der elektromagnetische Welle, ihre Erzeugung und Ausbreitung werden erarbeitet. Übergang vom Schwingkreis zum Hertz'schen Dipol durch Verkleinerung von L und C, Überlegungen zum „Ausbreitungsmechanismus" elektromagnetischer Wellen: • Induktion findet auch ohne Leiter („Induktionsschleife") statt! • (Z.B.) Versuch zur Demonstration des Magnetfeldes um stromdurchflossene Leiter, über die ein Kondensator aufgeladen wird. • Auch im Bereich zwischen den Kondensatorplatten existiert ein magnetisches Wirbelfeld.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
	entscheiden für Problemstellungen aus der Elektrik, ob ein deduktives oder ein experimentelles Vorgehen sinnvoller ist (B4, UF2, E1), leiten physikalische Gesetze aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2), beschreiben die Interferenz an Doppelspalt und Gitter im Wellenmodell und leiten die entsprechenden Terme für die Lage der jeweiligen Maxima n-ter Ordnung her (E6, UF1, UF2), wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze problembezogen aus (UF2), erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten (K1, K3, UF3).	Visuelle Medien zur Veranschaulichung der Ausbreitung einer linearen (harmonischen) Welle, auch Wellenmaschine zur Erinnerung an mechanische Wellen, entsprechende Computersimulationen, Wellenwanne Mikrowellensender / -empfänger mit Gerätesatz für Beugungs-, Brechungs- und Interferenzexperimente, Interferenz-, Beugungs- und Brechungsexperimente mit (Laser-) Licht an Doppelspalt und Gitter (quantitativ) – sowie z.B. an Kanten, dünnen Schichten,... (qualitativ)	Beugungs-, Brechungs- und Interferenzerscheinungen zum Nachweis des Wellencharakters elektromagnetischer Wellen,
28 Ustd.	**Summe**		

Inhaltsfeld: *Quantenphysik (LK)*

Kontext: Erforschung *des Photons*

Leitfrage: Besteht Licht doch aus Teilchen?
Inhaltliche Schwerpunkte: Licht und Elektronen als Quantenobjekte, Welle-Teilchen-Dualismus, Quantenphysik und klassische Physik
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Lichtelektrischer Effekt (1 Ustd.)	diskutieren und begründen das Versagen der klassischen Modelle bei der Deutung quantenphysikalischer Prozesse (K4, E6) legen am Beispiel des Photoeffekts und seiner Deutung dar, dass neue physikalische Experimente und Phänomene zur Veränderung des physikalischen Weltbildes bzw. zur Erweiterung oder Neubegründung physikalischer Theorien und Modelle führen können (E7),	Entladung einer positiv bzw. negativ geladenen (frisch geschmirgelten) Zinkplatte mithilfe des Lichts einer Hg-Dampf-Lampe (ohne und mit UV-absorbierender Glasscheibe)	Qualitative Demonstration des Photoeffekts

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Teilcheneigenschaften von Photonen Planck´sches Wirkungsquantum (7 Ustd.)	erläutern die qualitativen Vorhersagen der klassischen Elektrodynamik zur Energie von Photoelektronen (bezogen auf die Frequenz und Intensität des Lichts) (UF2, E3), erläutern den Widerspruch der experimentellen Befunde zum Photoeffekt zur klassischen Physik und nutzen zur Erklärung die Einstein'sche Lichtquantenhypothese (E6, E1), diskutieren das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der quantenmechanischen Beschreibung von Licht und Elektronen im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen (B2, E7), beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur h-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2), ermitteln aus den experimentellen Daten eines Versuchs zum Photoeffekt das Planck´sche Wirkungsquantum (E5, E6),	1. Versuch zur h-Bestimmung: Aufladung eines Kondensator unter Verwendung verschiedener LED 2. Versuch zur h-Bestimmung (anhand einer Simulation): Gegenfeldmethode mit Diskussion der Strom-Spannungs-Kennlinie	Wenn genügend Zeit zur Verfügung steht, kann an dieser Stelle auch der Compton-Effekt qualitativ behandelt werden: Bedeutung der Anwendbarkeit der (mechanischen) Stoßgesetze hinsichtlich der Zuordnung eines Impulses für Photonen (Die detaillierte relativistische Rechnung ist an dieser Stelle nicht möglich.)
10 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Röntgenstrahlung, Erforschung des Photons***
Leitfrage: Was ist Röntgenstrahlung?
Inhaltliche Schwerpunkte: Licht und Elektronen als Quantenobjekte
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Röntgenröhre Röntgenspektrum (2 Ustd.)	beschreiben den Aufbau einer Röntgenröhre (UF1),	Da keine Röntgenröhre zur Verfügung stehen, kann mit einem interaktiven Bildschirmexperiment (IBE) gearbeitet werden (z.B. http://www.mackspace.de/unterricht/simulationen_physik/quantenphysik/sv/roentgen.php oder http://www.uni-due.de/physik/ap/iabe/roentgen_b10/roentgen_b10_uebersicht.html)	Die Behandlung der Röntgenstrahlung erscheint an dieser Stelle als „Einschub“ in die Reihe zur Quantenphysik sinnvoll, obwohl sie auch zu anderen Sachbereichen Querverbindungen hat und dort durchgeführt werden könnte (z.B. „Physik der Atomhülle“) Zu diesem Zeitpunkt müssen kurze Sachinformationen zum Aufbau der Atomhülle und den Energiezuständen der Hüllelektronen gegeben (recherchiert) werden. Das IBE kann für die häusliche Arbeit genutzt werden.
Bragg’sche Reflexionsbedingung (2 Ustd.)	erläutern die Bragg-Reflexion an einem Einkristall und leiten die Bragg‘sche Reflexionsbedingung her (E6),	Aufnahme eines Röntgenspektrums (Winkel-Intensitätsdiagramm vs. Wellenlängen-Intensitätsdiagramm)	Die Bragg’sche Reflexionsbedingung basiert auf Welleninterpretation, die Registrierung der Röntgenstrahlung mithilfe des Detektors hat den Teilchenaspekt im Vordergrund

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Planck'sches Wirkungsquantum (1 Ustd.)	deuten die Entstehung der kurzwelligen Röntgenstrahlung als Umkehrung des Photoeffekts (E6),		Eine zweite Bestimmungsmethode für das Planck'sche Wirkungsquantum
Strukturanalyse mithilfe der Drehkristallmethode Strukturanalyse nach Debye-Scherrer (2 Ustd.)			Schülerreferate mit Präsentationen zur Debye-Scherrer-Methode
Röntgenröhre in Medizin und Technik (2 Ustd.)	führen Recherchen zu komplexeren Fragestellungen der Quantenphysik durch und präsentieren die Ergebnisse (K2, K3),	Film / Video / Foto Schülervorträge auf fachlich angemessenem Niveau (mit adäquaten fachsprachlichen Formulierungen)	Schülerreferate mit Präsentationen anhand Literatur- und Internetrecherchen Optional: Exkursion FH Steinfurt mit Messungen an der Röntgenröhren
9 Ustd.	**Summe**		

Kontext: *Erforschung des Elektrons*

Leitfrage: Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Welle-Teilchen-Dualismus

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Wellencharakter von Elektronen (2 Ustd.)	interpretieren experimentelle Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre mit den Welleneigenschaften von Elektronen (E1, E5, E6),	Qualitative Demonstrationen mit der Elektronenbeugungsröhre Qualitative Demonstrationen mithilfe RCL (Uni Kaiserslautern: http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de/)	Hinweise auf erlaubte nichtrelativistische Betrachtung (bei der verwendeten Elektronenbeugungsröhre der Schule)
Streuung und Beugung von Elektronen De Broglie-Hypothese (4 Ustd.)	beschreiben und erläutern Aufbau und Funktionsweise von komplexen Versuchsaufbauten (u.a. zur h-Bestimmung und zur Elektronenbeugung) (K3, K2), erklären die de Broglie-Hypothese am Beispiel von Elektronen (UF1),	Quantitative Messung mit der Elektronenbeugungsröhre	Herausstellen der Bedeutung der Bragg'schen Reflexionsbedingung für (Röntgen-) Photonen wie für Elektronen mit Blick auf den Wellenaspekt von Quantenobjekten Dabei Betonung der herausragenden Bedeutung der de Broglie-Gleichung für die quantitative Beschreibung der Quantenobjekte
6 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Die Welt kleinster Dimensionen – Mikroobjekte und Quantentheorie***
Leitfrage: Was ist anders im Mikrokosmos?
Inhaltliche Schwerpunkte: Welle-Teilchen-Dualismus und Wahrscheinlichkeitsinterpretation, Quantenphysik und klassische Physik
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
linearer Potentialtopf Energiewerte im linearen Potentialtopf (4 Ustd.)	deuten das Quadrat der Wellenfunktion qualitativ als Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen (UF1, UF4), ermitteln die Wellenlänge und die Energiewerte von im linearen Potentialtopf gebundenen Elektronen (UF2, E6).		Auf die Anwendbarkeit des Potentialtopf-Modells bei Farbstoffmolekülen wird hingewiesen. Die Anwendbarkeit des (mechanischen) Modells der stehenden Welle kann insofern bestätigt werden, als dass die für die stehenden Wellen sich ergebende DGl mit derjenigen der (zeitunabhängigen) Schrödinger-DGl strukturell übereinstimmt. Ein Ausblick auf die Schrödinger-Gleichung genügt.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Wellenfunktion und Aufenthalts-wahrscheinlichkeit (4 Ustd.)	erläutern die Aufhebung des Welle-Teilchen-Dualismus durch die Wahrscheinlichkeitsinterpretation (UF1, UF4), erläutern die Bedeutung von Gedankenexperimenten und Simulationsprogrammen zur Erkenntnisgewinnung bei der Untersuchung von Quantenobjekten (E6, E7). erläutern bei Quantenobjekten das Auftreten oder Verschwinden eines Interferenzmusters mit dem Begriff der Komplementarität (UF1, E3), diskutieren das Auftreten eines Paradigmenwechsels in der Physik am Beispiel der quantenmechanischen Beschreibung von Licht und Elektronen im Vergleich zur Beschreibung mit klassischen Modellen (B2, E7), stellen anhand geeigneter Phänomene dar, wann Licht durch ein Wellenmodell bzw. ein Teilchenmodell beschrieben werden kann (UF1, K3, B1),	Demonstration des Durchgangs eines einzelnen Quantenobjekts durch einen Doppelspalt mithilfe eines Simulationsprogramms und mithilfe von Videos	
Heisenberg´sche Unschärferelation (2 Ustd.)	erläutern die Aussagen und die Konsequenzen der Heisenberg´schen Unschärferelation (Ort-Impuls, Energie-Zeit) an Beispielen (UF1, K3), bewerten den Einfluss der Quantenphysik im Hinblick auf Veränderungen des Weltbildes und auf Grundannahmen zur physikalischen Erkenntnis (B4, E7).		Die Heisenberg'sche Unschärferelation kann (aus fachlicher Sicht) plausibel gemacht werden aufgrund des sich aus der Interferenzbedingung ergebenden Querimpulses eines Quantenobjekts, wenn dieses einen Spalt passiert.
10 Ustd.	**Summe**		

Inhaltsfeld: *Relativitätstheorie (LK)*

Kontext: *Satellitennavigation – Zeitmessung ist nicht absolut*

Leitfrage: Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?
Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Problem der Gleichzeitigkeit
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und Problem der Gleichzeitigkeit Inertialsysteme Relativität der Gleichzeitigkeit (4 Ustd.)	begründen mit dem Ausgang des Michelson-Morley-Experiments die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4, E5, E6), erläutern das Problem der relativen Gleichzeitigkeit mit in zwei verschiedenen Inertialsystemen jeweils synchronisierten Uhren (UF2), begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten Auswirkungen auf die additive Überlagerung von Geschwindigkeiten (UF2).	Experiment von Michelson und Morley (Michelsoninterferometer und Computersimulation) Relativität der Gleichzeitigkeit (Video / Film)	Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen Begründung der Hypothese von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Ausgang des Michelson- und Morley-Experiments (Computersimulation). Das Additionstheorem für relativistische Geschwindigkeiten kann ergänzend ohne Herleitung angegeben werden.
4 Ustd.	**Summe**		

Kontext: *Höhenstrahlung*
Leitfrage: Warum erreichen Myonen aus der oberen Atmosphäre die Erdoberfläche?
Inhaltliche Schwerpunkte: Zeitdilatation und Längenkontraktion
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Zeitdilatation und relativistischer Faktor (2 Ustd., zusätzlich Exkursion)	leiten mithilfe der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und des Modells Lichtuhr quantitativ die Formel für die Zeitdilatation her (E5), reflektieren die Nützlichkeit des Modells Lichtuhr hinsichtlich der Herleitung des relativistischen Faktors (E7). erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1)	Lichtuhr (Gedankenexperiment / Computersimulation) Myonenzerfall (Experimentepool der WWU)	Mit der Lichtuhr wird der relativistische Faktor hergeleitet. Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient als eine experimentelle Bestätigung der Zeitdilatation.
Längenkontraktion (2 Ustd.)	begründen den Ansatz zur Herleitung der Längenkontraktion (E6), erläutern die relativistischen Phänomene Zeitdilatation und Längenkontraktion anhand des Nachweises von in der oberen Erdatmosphäre entstehenden Myonen (UF1), beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3),	Myonenzerfall s. o.	Der Myonenzerfall dient als experimentelle Bestätigung der Längenkontraktion (im Vergleich zur Zeitdilatation) – s. o. Herleitung der Formel für die Längenkontraktion
4 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Teilchenbeschleuniger – Warum Teilchen aus dem Takt geraten***
Leitfrage: Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?
Inhaltliche Schwerpunkte: Relativistische Massenzunahme, Energie-Masse-Beziehung
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
„Schnelle“ Ladungsträger in E- und B-Feldern Ruhemasse und dynamische Masse (6 Ustd.)	erläutern die Energie-Masse-Beziehung (UF1) berechnen die relativistische kinetische Energie von Teilchen mithilfe der Energie-Masse-Beziehung (UF2)		Die Differenz aus dynamischer Masse und Ruhemasse wird als Maß für die kinetische Energie eines Körpers identifiziert.
	erläutern auf der Grundlage historischer Dokumente ein Experiment (Bertozzi-Versuch) zum Nachweis der relativistischen Massenzunahme (K2, K3),	Bertozzi-Experiment	
	erläutern den Einfluss der relativistischen Massenzunahme auf die Bewegung geladener Teilchen im Zyklotron (E6, UF4),	Wiederholung: Zyklotron	
Annihilation (2 Ustd.)	beschreiben die Bedeutung der Energie -Masse-Äquivalenz hinsichtlich der Annihilation von Teilchen und Antiteilchen (UF4), bestimmen und bewerten den bei der Annihilation von Teilchen und Antiteilchen frei werdenden Energiebetrag (E7, B1),	Auswertung von Aufnahmen von Teilchenbahnen	
8 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Satellitennavigation – Zeitmessung unter dem Einfluss von Geschwindigkeit und Gravitation***
Leitfrage: Beeinflusst Gravitation den Ablauf der Zeit?
Inhaltliche Schwerpunkte: Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Gravitation und Zeitmessung (2 Ustd.)	beschreiben qualitativ den Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung (UF4)	Der Gang zweier Atomuhren in unterschiedlicher Höhe in einem Raum (früheres Experimente der PTB Braunschweig) Flug von Atomuhren um die Erde (Video)	Dieser Unterrichtsabschnitt soll lediglich einen ersten – qualitativ orientierten – Einblick in die Äquivalenz von Gravitation und gleichmäßig beschleunigten Bezugssystemen geben. Elemente des Kontextes Satellitennavigation können genutzt werden, um sowohl die Zeitdilatation (infolge der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Satelliten) als auch die Gravitationswirkung (infolge ihres Aufenthalts an verschiedenen Orten im Gravitationsfeld der Erde) zu verdeutlichen.
Die Gleichheit von träger und schwerer Masse (im Rahmen der heutigen Messgenauigkeit) (2 Ustd.)	veranschaulichen mithilfe eines einfachen gegenständlichen Modells den durch die Einwirkung von massebehafteten Körpern hervorgerufenen Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung sowie die „Krümmung des Raums“ (K3).	Einsteins Fahrstuhl-Gedanken-experiment Das Zwillingsparadoxon (mit Beschleunigungsphasen und Phasen der gleichförmigen Bewegung Film / Video	An dieser Stelle könnte eine Schülerpräsentation erfolgen (mithilfe der Nutzung von Informationen und Animationen aus dem Internet)
4 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Das heutige Weltbild***
Leitfrage: Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?
Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Problem der Gleichzeitigkeit, Zeitdilatation und Längenkontraktion, Relativistische Massenzunahme, Energie-Masse-Beziehung, Der Einfluss der Gravitation auf die Zeitmessung
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit (2 Ustd.)	bewerten Auswirkungen der Relativitätstheorie auf die Veränderung des physikalischen Weltbilds (B4).	Lehrbuchtexte, Internetrecherche	Ggf. Schülervortrag
2 Ustd.	**Summe**		

Inhaltsfeld: *Atom-, Kern- und Elementarteilchenphysik (LK)*

Kontext: *Geschichte der Atommodelle, Lichtquellen und ihr Licht*

Leitfrage: Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?
Inhaltliche Schwerpunkte: Atomaufbau
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Atomaufbau: Kern-Hülle-Modell (2 Ustd.)	geben wesentliche Schritte in der historischen Entwicklung der Atommodelle bis hin zum Kern-Hülle-Modell wieder (UF1),	Recherche in Literatur und Internet Rutherford‘scher Streuversuch	Diverse Atommodelle (Antike bis Anfang 20. Jhd.)
Energiequantelung der Hüllelektronen (3 Ustd.)	erklären Linienspektren in Emission und Absorption sowie den Franck-Hertz-Versuch mit der Energiequantelung in der Atomhülle (E5),	Linienspektren, Franck-Hertz-Versuch	Linienspektren deuten auf diskrete Energien hin
Linienspektren (3 Ustd.)	stellen die Bedeutung des Franck-Hertz-Versuchs und der Experimente zu Linienspektren in Bezug auf die historische Bedeutung des Bohr’schen Atommodells dar (E7).	Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung), Linienspektren von H	Demonstrationsversuch, Arbeitsblatt
Bohr’sche Postulate (2 Ustd.)	formulieren geeignete Kriterien zur Beurteilung des Bohr´schen Atommodells aus der Perspektive der klassischen und der Quantenphysik (B1, B4),	Literatur, Arbeitsblatt	Berechnung der Energieniveaus, Bohr’scher Radius
10 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Physik in der Medizin (Bildgebende Verfahren, Radiologie)***
Leitfrage: Wie nutzt man Strahlung in der Medizin?
Inhaltliche Schwerpunkte: Ionisierende Strahlung, Radioaktiver Zerfall
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Ionisierende Strahlung: Detektoren (3 Ustd.)	benennen Geiger-Müller-Zählrohr und Halbleiterdetektor als experimentelle Nachweismöglichkeiten für ionisierende Strahlung und unterscheiden diese hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur Messung von Energien (E6),	Geiger-Müller-Zählrohr, Arbeitsblatt Nebelkammer	Schülermessungen mit Zählrohren (Alltagsgegenstände, Nulleffekt , Präparate etc.) Demonstration der Nebelkammer
Strahlungsarten (5 Ustd.)	erklären die Ablenkbarkeit von ionisierenden Strahlen in elektrischen und magnetischen Feldern sowie die Ionisierungsfähigkeit und Durchdringungsfähigkeit mit ihren Eigenschaften (UF3), erklären die Entstehung des Bremsspektrums und des charakteristischen Spektrums der Röntgenstrahlung (UF1), benennen Geiger-Müller-Zählrohr und Halbleiterdetektor als experimentelle Nachweismöglichkeiten für ionisierende Strahlung und unterscheiden diese hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur Messung von Energien (E6), erläutern das Absorptionsgesetz für Gamma-Strahlung, auch für verschiedene Energien (UF3),	Absorption von Alpha-, Beta-, Gamma-Strahlung Ablenkung von Beta-Strahlung im Magnetfeld Literatur (zur Röntgen- , Neutronen- und Schwerionenstrahlung)	Ggf. Absorption und Ablenkung in Schülerexperimenten

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Dosimetrie (2 Ustd.)	erläutern in allgemein verständlicher Form bedeutsame Größen der Dosimetrie (Aktivität, Energie- und Äquivalentdosis) auch hinsichtlich der Vorschriften zum Strahlenschutz (K3),	Video zur Dosimetrie Auswertung von Berichten über Unfälle im kerntechnischen Bereich	
Bildgebende Verfahren (4 Ustd.)	stellen die physikalischen Grundlagen von Röntgenaufnahmen und Szintigrammen als bildgebende Verfahren dar (UF4), beurteilen Nutzen und Risiken ionisierender Strahlung unter verschiedenen Aspekten (B4),	Schülervorträge auf fachlich angemessenem Niveau (mit adäquaten fachsprachlichen Formulierungen)	Nutzung von Strahlung zur Diagnose und zur Therapie bei Krankheiten des Menschen (von Lebewesen) sowie zur Kontrolle bei technischen Anlagen
14 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***(Erdgeschichtliche) Altersbestimmungen***
Leitfrage: Wie funktioniert die 14C-Methode?
Inhaltliche Schwerpunkte: Radioaktiver Zerfall
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Radioaktiver Zerfall: Kernkräfte (1 Ustd.)	benennen Protonen und Neutronen als Kernbausteine, identifizieren Isotope und erläutern den Aufbau einer Nuklidkarte (UF1),	Ausschnitt aus Nuklidkarte	Aufbauend auf Physik- und Chemieunterreicht der S I

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Zerfallsprozesse (7 Ustd.)	identifizieren natürliche Zerfallsreihen sowie künstlich herbeigeführte Kernumwandlungsprozesse mithilfe der Nuklidkarte (UF2),	Elektronische Nuklidkarte	Umgang mit einer Nuklidkarte
	entwickeln Experimente zur Bestimmung der Halbwertszeit radioaktiver Substanzen (E4, E5), nutzen Hilfsmittel, um bei radioaktiven Zerfällen den funktionalen Zusammenhang zwischen Zeit und Abnahme der Stoffmenge sowie der Aktivität radioaktiver Substanzen zu ermitteln (K3), leiten das Gesetz für den radioaktiven Zerfall einschließlich eines Terms für die Halbwertszeit her (E6),	Radon-Messung im Schulkeller Tabellenkalkulation	Siehe http://www.physik-box.de/radon/radonseite.html Ggf. Auswertung mit Tabellenkalkulation durch Schüler Linearisierung, Quotientenmethode, Halbwertszeitabschätzung, ggf. logarithmische Auftragung Ansatz analog zur quantitativen Beschreibung von Kondensatorentladungen
Altersbestimmung (2 Ustd.)	bestimmen mithilfe des Zerfallsgesetzes das Alter von Materialien mit der C14-Methode (UF2),	Arbeitsblatt	Ggf. Uran-Blei-Datierung
10 Ustd.	**Summe**		

Kontext: *Energiegewinnung durch nukleare Prozesse*

Leitfrage: Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?
Inhaltliche Schwerpunkte: Kernspaltung und Kernfusion, Ionisierende Strahlung
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Massendefekt, Äquivalenz von Masse und Energie, Bindungsenergie (4 Ustd.)	bewerten den Massendefekt hinsichtlich seiner Bedeutung für die Gewinnung von Energie (B1), bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1),	Video zu Kernwaffenexplosion	Interpretation des Zusammenhangs zwischen Bindungsenergie pro Nukleon und der Kernspaltungs- bzw. Kern-fusionsenergie bei den entsprechenden Prozessen. Es können Filme zu Hiroshi-ma und Nagasaki eingesetzt werden.
Kettenreaktion (2 Ustd.)	erläutern die Entstehung einer Kettenreaktion als relevantes Merkmal für einen selbstablaufenden Prozess im Nuklearbereich (E6), beurteilen Nutzen und Risiken von Kernspaltung und Kernfusion anhand verschiedener Kriterien (B4),	Mausefallenmodell, Video, Applet	Videos zum Mausefallenmodell sind im Netz (z.B. bei YouTube) verfügbar
Kernspaltung, Kernfusion (5 Ustd.)	beschreiben Kernspaltung und Kernfusion unter Berücksichtigung von Bindungsener-gien (quantitativ) und Kernkräften (qualitativ) (UF4), beurteilen die Bedeutung der Beziehung $E=mc^2$ für Erforschung und technische Nutzung von Kernspaltung und Kernfusion (B1,B3) hinterfragen Darstellungen in Medien hinsichtlich technischer und sicherheitsrelevanter Aspekte der Energiegewinnung durch Spaltung und Fusion (B3, K4).	Diagramm *B*/*A* gegen *A*, Tabellenwerk, ggf. Applet Recherche im Internet	Z.B. http://www.leifiphysik.de
11 Ustd.	**Summe**		

Kontext*: Forschung am CERN und DESY – Elementarteilchen und ihre fundamentalen Wechselwirkungen*
Leitfrage: Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?
Inhaltliche Schwerpunkte: Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,
(K2) zu physikalischen Fragestellungen relevante Informationen und Daten in verschiedenen Quellen, auch in ausgewählten wissenschaftlichen Publikationen, recherchieren, auswerten und vergleichend beurteilen,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Kernbausteine und Elementarteilchen (4 Ustd.)	systematisieren mithilfe des heutigen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik (UF3),	Existenz von Quarks (Video) Internet (CERN / DESY)	Da in der Schule kaum Experimente zum Thema „Elementarteilchenphysik“ vorhanden sind, sollen besonders Rechercheaufgaben und Präsentationen im Unterricht genutzt werden. Internet: http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/ Ggf. Schülerreferate
Kernkräfte Austauschteilchen der fundamentalen Wechselwirkungen (4 Ustd.)	vergleichen das Modell der Austauschteilchen im Bereich der Elementarteilchen mit dem Modell des Feldes (Vermittlung, Stärke und Reichweite der Wechselwirkungskräfte) (E6). erklären an Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell mithilfe der Heisenberg’schen Unschärferelation und der Energie-Masse-Äquivalenz (UF1).	Darstellung der Wechselwirkung mit Feynman-Graphen (anhand von Literatur)	Besonderer Hinweis auf andere Sichtweise der „Kraftübertragung“: Feldbegriff vs. Austauschteilchen Die Bedeutung der Gleichung $E=mc^2$ (den SuS bekannt aus Relativitätstheorie) in Verbindung mit der Heisenberg’schen Unschärferelation in der Form (den SuS bekannt aus Elementen der Quantenphysik) für die Möglichkeit des kurzzeitigen Entstehens von Austauschteilchen ist herauszustellen.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Aktuelle Forschung und offene Fragen der Elementarteilchenphysik (z.B. Higgs-Teilchen, Dunkle Materie, Dunkle Energie, Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie, …) (3 Ustd.)	recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik (K2),	Literatur und Recherche im Internet „CERN-Rap“: http://www.youtube.com/watch?v=7VshToyoGl8	Hier muss fortlaufend berücksichtigt werden, welches der aktuelle Stand der Forschung in der Elementarteilchenphysik ist (derzeit: Higgs-Teilchen, Dunkle Materie, Dunkle Energie, Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie, …) Der CERN-Rap gibt eine für Schülerinnen und Schüler motivierend dargestellte Übersicht über die aktuelle Forschung im Bereich der Elementarteilchenphysik
11 Ustd.	**Summe**		

Hinweis: In diesem Bereich sind keine Realexperimente in der Schule möglich. Es sollte daher insbesondere die Möglichkeit genutzt werden, auf geeignete Internetmaterialien zurück zu greifen. Nachfolgend sind einige geeignet erscheinende Internetquellen aufgelistet. Internet-Materialien (Letzter Aufruf Juni 2017):

- CERN-Film zum Standardmodell (sehr übersichtlich):
  - http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/kurzvideos/film6.wmv
  - Weiter Filme zum Standardmodell im Netz verfügbar (z.B. bei YouTube)
- Einführung in Teilchenphysik (DESY):
  - http://teilchenphysik.desy.de/
  - http://kworkquark.desy.de/1/index.html
- Übungen und Erklärungen zu Ereignisidentifikation (umfangreiche CERN-Internetseite zum Analysieren von (Original-) Eventdisplays) am Computer:
  - http://kjende.web.cern.ch/kjende/de/wpath.htm

- Ausgezeichnete Unterrichtsmaterialien des CERN zur Teilchenphysik:
  - http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/
- Übungen zur Teilchenphysik in der Realität:
  - http://physicsmasterclasses.org/neu/
  - http://www.teilchenwelt.de/
- Naturphänomene und Anregungen für den Physikunterricht:
  - http://www.solstice.de

4. 4 Konkretisierte Unterrichtsvorhaben im Grundkurs

Inhaltsfeld: *Quantenobjekte (GK)*

Kontext: *Erforschung des Lichts I*

Leitfrage: Wie kann das Verhalten von Licht beschrieben und erklärt werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Licht als (elektromagnetische) Welle

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Beugung und Interferenz Lichtwellenlänge, Lichtfrequenz, Kreiswellen, ebene Wellen, Beugung, Brechung (14 Ustd.)	veranschaulichen mithilfe der *Wellenwanne* qualitativ unter Verwendung von Fachbegriffen auf der Grundlage des Huygens'schen Prinzips Kreiswellen, ebene Wellen sowie die Phänomene Beugung, Interferenz, Reflexion und Brechung (K3), bestimmen Wellenlängen und Frequenzen von Licht mit *Doppelspalt* und *Gitter* (E5),	**Doppelspalt** und **Gitter**, **Wellenwanne** quantitative Experimente mit Laserlicht Bestimmung der Wellenlängen von Licht mit Doppelspalt und Gitter (Laserlicht, Halogenlampe, LED, Energiesparlampe als Experimentalpraktikum)	Ausgangspunkt: Beugung von Laserlicht Modellbildung mit Hilfe der Wellenwanne (ggf. als Schülerpräsentation) Sehr schön sichtbare Beugungsphänomene finden sich vielfach bei Meereswellen (s. Google-Earth)

Kontext: *Erforschung des Elektrons I*

Leitfrage: Wie kann das Verhalten von Elektronen beschrieben und erklärt werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Ladung und Masse des Elektrons(Teilchenaspekt)

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren, (E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Elektrisches Feld und elektrische Spannung (8 Ustd.)	beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1), definieren die Spannung als Verhältnis von Energie und Ladung und bestimmen damit Energien bei elektrischen Leitungsvorgängen (UF2), bestimmen die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (UF2),	Elektroskop und Glimmlampe als Nachweisgeräte für Ladungen (u.U.) „Rasierklingenversuch“ zur Definition der elektrischen Feldstärke E=F/q (Wiederholung aus SI) Spannungsbegriff U=W/q Herleitung E=U/d Demonstrationsexperimente mit Plattenkondensator	Zum Verständnis der nachfolgenden zentralen Versuche erscheint uns eine systematische Erarbeitung der Grundbegriffe wichtig. (Vertiefung des Feldbegriffs durch Analogiebetrachtung zum Gravitationsfeld)
Elementarladung (4 Ustd.)	erläutern anhand einer vereinfachten Version des *Millikanversuchs* die grundlegenden Ideen und Ergebnisse zur Bestimmung der Elementarladung (UF1, E5), untersuchen, ergänzend zum Realexperiment, Computersimulationen zum Verhalten von Quantenobjekten (E6).	**Millikanversuch** Schwebefeldmethode und Sinkmethode (mit Stokes´scher Reibung) Auch als Simulation möglich	
Magnetfeld (8 Ustd.)	beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1),	(Wiederholung aus SI) Grundwissen Magnetismus Experiment Stromwaage zur Definition der magnetischen Flussdichte B=F/(Is) Herleitung der Formel für die Lorentzkraft, 3-Finger-Regel Messung der Stärke von Magnetfeldern mit der Hallsonde	Zum Verständnis der nachfolgenden zentralen Versuche erscheint uns eine systematische Erarbeitung der Grundbegriffe wichtig. (Weitere Vertiefung des Feldbegriffs durch Analogiebetrachtung zum Gravitationsfeld bzw. elektrischen Feld)

Elektronenmasse (4 Ustd.)	beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer und magnetischer Felder und erläutern deren Definitionsgleichungen. (UF2, UF1), bestimmen die Geschwindigkeitsänderung eines Ladungsträgers nach Durchlaufen einer elektrischen Spannung (UF2), modellieren Vorgänge im *Fadenstrahlrohr* (Energie der Elektronen, Lorentzkraft) mathematisch, variieren Parameter und leiten dafür deduktiv Schlussfolgerungen her, die sich experimentell überprüfen lassen, und ermitteln die Elektronenmasse (E6, E3, E5),	***e/m*-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr und Helmholtzspulenpaar**	Vertiefung des Zusammenhangs zwischen Spannung, Ladung und Überführungsarbeit am Beispiel Elektronenkanone.

Kontext: *Erforschung des Lichts II*

Leitfrage: Wie kann das Verhalten von Licht beschrieben und erklärt werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Licht als Photon

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar/didaktische Hinweise**
Quantelung der Energie von Licht, Austrittsarbeit (6 Ustd.)	demonstrieren anhand eines *Experiments zum Photoeffekt* den Quantencharakter von Licht und bestimmen den Zusammenhang von Energie, Wellenlänge und Frequenz von Photonen sowie die Austrittsarbeit der Elektronen (E5, E2),	**Photoeffekt** Hallwachsversuch Vakuumphotozelle	Roter Faden: Von Hallwachs bis Elektronenbeugung Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit

Kontext: *Erforschung des Elektrons II*

Leitfrage: Wie kann das Verhalten von Elektronen beschrieben und erklärt werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Beugung von Elektronen (Wellenaspekt)
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Beugung von Elektronen an Festkörpern, de Broglie-Wellenlänge (6 Ustd.)	erläutern die Aussage der de Broglie-Hypothese, wenden diese zur Erklärung des Beugungsbildes beim *Elektronenbeugungsexperiment* an und bestimmen die Wellenlänge der Elektronen (UF1, UF2, E4).	**Experiment von Jönsson** **Experiment zur Elektronenbeugung an polykristallinem Graphit**	Analogie zum Doppelspaltversuch mit Licht Veranschaulichung der Bragg-Bedingung analog zur Gitterbeugung

Kontext: *Photonen und Elektronen als Quantenobjekte*

Leitfrage: Kann das Verhalten von Elektronen und Photonen durch ein gemeinsames Modell beschrieben werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Elektron und Photon (Teilchenaspekt, Wellenaspekt), Quantenobjekte und ihre Eigenschaften

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.
(K4) sich mit anderen über physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse kritisch-konstruktiv austauschen und dabei Behauptungen oder Beurteilungen durch Argumente belegen bzw. widerlegen.
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Licht und Materie (6 Ustd.)	erläutern am Beispiel der Quantenobjekte Elektron und Photon die Bedeutung von Modellen als grundlegende Erkenntniswerkzeuge in der Physik (E6, E7), verdeutlichen die Wahrscheinlichkeitsinterpretation für Quantenobjekte unter Verwendung geeigneter Darstellungen (Graphiken, Simulationsprogramme) (K3). zeigen an Beispielen die Grenzen und Gültigkeitsbereiche von Wellen- und Teilchenmodellen für Licht und Elektronen auf (B4, K4), beschreiben und diskutieren die Kontroverse um die Kopenhagener Deutung und den Welle-Teilchen-Dualismus (B4, K4).	Computersimulation **Doppelspalt**	Reflexion der Bedeutung der Experimente für die Entwicklung der Quantenphysik
	Summe 56		

Inhaltsfeld: *Elektrodynamik (GK)*

Kontext: *Erzeugung und Nutzung elektrischer Energie in unserer Gesellschaft*

Leitfrage: Wie kann elektrische Energie gewonnen, verteilt und bereitgestellt werden?
Inhaltliche Schwerpunkte: Spannung und elektrische Energie, Induktion, Spannungswandlung

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF2) zur Lösung physikalischer Probleme zielführend Definitionen, Konzepte sowie funktionale Beziehungen zwischen physikalischen Größen angemessen und begründet auswählen,
(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Wandlung von mechanischer in elektrische Energie: Elektromagnetische Induktion Induktionsspannung (4 Ustd.)	erläutern am Beispiel der *Leiterschaukel* das Auftreten einer Induktionsspannung durch die Wirkung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungsträger (UF1, E6), bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6), führen Induktionserscheinungen an einer *Leiterschleife* auf die beiden grundlegenden Ursachen „zeitlich veränderliches Magnetfeld“ bzw. „zeitlich veränderliche (effektive) Fläche“ zurück (UF3, UF4),	bewegter Leiter im (homogenen) Magnetfeld - „**Leiterschaukelversuch**“ Deduktive Herleitung der Beziehung zwischen *U*, *v* und *B*.	Das Entstehen einer Induktionsspannung bei bewegtem Leiter im Magnetfeld wird mit Hilfe der **Lorentzkraft** erklärt, eine Beziehung zwischen Induktionsspannung, Leitergeschwindigkeit und Stärke des Magnetfeldes wird (deduktiv) hergeleitet. Der Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und zeitlicher Veränderung der senkrecht vom Magnetfeld durchsetzten Fläche wird „deduktiv“ erschlossen, die Abhängigkeit vom zeitlich veränderlichen Magnetfeld experimentell untersucht und diskutiert. Das mündet im Verständnis der Beziehung $U_{ind}(t) = n\phi'(t)$

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Lenz'sche Regel (4 Ustd)	erläutern anhand des *Thomson´schen Ringversuchs* die Lenz´sche Regel (E5, UF4), werten Messdaten, die mit einem *Oszilloskop* bzw. mit einem *Messwerterfassungssystem* gewonnen wurden, im Hinblick auf Zeiten, Frequenzen und Spannungen aus (E2, E5).	Thomson'scher Ringversuch, Zündung einer Glimmlampe Exp.: Primärspule an Funktionsgenerator (Dreiecks-Rechtecks-, Sinusspannung), ruhende Sekundärspule an Zweikanal-Oszilloskop	
Technisch praktikable Generatoren: Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen (4 Ustd.)	recherchieren bei vorgegebenen Fragestellungen historische Vorstellungen und Experimente zu Induktionserscheinungen (K2), erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3), erläutern das Entstehen sinusförmiger Wechselspannungen in Generatoren (E2, E6),	Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen, Filme und Applets zum Generatorprinzip Experimente mit drehenden Leiterschleifen in (näherungsweise homogenen) Magnetfeldern, Wechselstromgeneratoren Messung und Registrierung von Induktionsspannungen mit dem Oszilloskop	Hier bietet es sich an, arbeitsteilige Präsentationen auch unter Einbezug von Realexperimenten anfertigen zu lassen.
Nutzbarmachung elektrischer Energie durch „Transformation" Transformator (5Ustd.)	erläutern adressatenbezogen Zielsetzungen, Aufbauten und Ergebnisse von Experimenten im Bereich der Elektrodynamik jeweils sprachlich angemessen und verständlich (K3), ermitteln die Übersetzungsverhältnisse von Spannung und Stromstärke beim *Transformator* (UF1, UF2). geben Parameter von Transformatoren zur gezielten Veränderung einer elektrischen Wechselspannung an (E4),	diverse „Netzteile" von Elektro-Kleingeräten (mit klassischem Transformator) Internetquellen, Lehrbücher, Firmeninformationen Schülerexperimente (bei niedrigen Spannungen) Demonstrationsexperimente (bei Hochspannung)	

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Energieerhaltung Ohm´sche „Verluste“ (4 Ustd.)	verwenden ein physikalisches *Modellexperiment zu Freileitungen*, um technologische Prinzipien der Bereitstellung und Weiterleitung von elektrischer Energie zu demonstrieren und zu erklären (K3), bewerten die Notwendigkeit eines geeigneten Transformierens der Wechselspannung für die effektive Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B1), zeigen den Einfluss und die Anwendung physikalischer Grundlagen in Lebenswelt und Technik am Beispiel der Bereitstellung und Weiterleitung elektrischer Energie auf (UF4), beurteilen Vor- und Nachteile verschiedener Möglichkeiten zur Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen (B2, B1, B4).	**Modellexperiment** (z.B. mit Hilfe von Aufbautransfor-matoren) zur Energieüber-tragung und zur Bestimmung der „Ohm’schen Verluste“ bei der Übertragung elektrischer Energie bei unterschiedlich hohen Spannungen	
Wirbelströme (4 Ustd.)	bewerten bei technischen Prozessen das Auftreten erwünschter bzw. nicht erwünschter Wirbelströme (B1),	diverse technische und spielerische Anwendungen, z.B. Dämpfungselement an einer Präzisionswaage, Wirbelstrombremse, „fallender Magnet“ im Alu-Rohr mit Schülerexperimenten	
	Summe 25		

Inhaltsfeld: *Strahlung und Materie (GK)*

Kontext: *Erforschung des Mikro- und Makrokosmos*

Leitfrage: Wie gewinnt man Informationen zum Aufbau der Materie?
Inhaltliche Schwerpunkte: Energiequantelung der Atomhülle, Spektrum der elektromagnetischen Strahlung
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E5) Daten qualitativ und quantitativ im Hinblick auf Zusammenhänge, Regeln oder mathematisch zu formulierende Gesetzmäßigkeiten analysieren und Ergebnisse verallgemeinern,
(E2) kriteriengeleitet beobachten und messen sowie auch komplexe Apparaturen für Beobachtungen und Messungen erläutern und sachgerecht verwenden,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Kern-Hülle-Modell (3 Ustd.)	erläutern, vergleichen und beurteilen Modelle zur Struktur von Atomen und Materiebausteinen (E6, UF3, B4),	Literaturrecherche, Schulbuch	Ausgewählte Beispiele für Atommodelle Rutherford-Streuversuch (Simulation und Diskussion der Ergebnisse) Coulombfeld in Analogie zum Gravitationsfeld
Energieniveaus der Atomhülle (3 Ustd.)	erklären die Energie absorbierter und emittierter Photonen mit den unterschiedlichen Energieniveaus in der Atomhülle (UF1, E6),	Erzeugung von **Linienspektren** mithilfe von Gasentladungslampen	Bohrsches Atommodell (ohne Rechnungen), Energieniveauschema des Wasserstoffatoms Deutung der Linienspektren
Quantenhafte Emission und Absorption von Photonen (3 Ustd.)	erläutern die Bedeutung von *Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse*, die Ergebnisse des *Franck-Hertz-Versuches* sowie die *charakteristischen Röntgenspektren* für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7),	**Franck-Hertz-Versuch**	

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Röntgenstrahlung (4 Ustd.)	erläutern die Bedeutung von *Flammenfärbung und Linienspektren bzw. Spektralanalyse*, die Ergebnisse des *Franck-Hertz-Versuches* sowie die *charakteristischen Röntgenspektren* für die Entwicklung von Modellen der diskreten Energiezustände von Elektronen in der Atomhülle (E2, E5, E6, E7),	Analyse von Röntgenspektren	Aufbau der Röntgenröhre, Analyse des *gesamten* Spektrums (kurzwellige Grenze der Bremsstrahlung, charakteristische Strahlung) Wdhlg.:Bragg-Reflexion
Sternspektren und Fraunhoferlinien (3 Ustd.)	interpretieren Spektraltafeln des *Sonnenspektrums* im Hinblick auf die in der Sonnen- und Erdatmosphäre vorhandenen Stoffe (K3, K1), erklären Sternspektren und Fraunhoferlinien (UF1, E5, K2), stellen dar, wie mit spektroskopischen Methoden Informationen über die Entstehung und den Aufbau des Weltalls gewonnen werden können (E2, K1),	**Flammenfärbung** Darstellung des **Sonnenspektrums** mit seinen **Fraunhoferlinien** **Spektralanalyse**	u. a. Durchstrahlung einer Na-Flamme mit Na- und Hg-Licht (Schattenbildung)
16 Ustd.	**Summe (Atomphysik) 16**		

Kontext: *Mensch und Strahlung*

Leitfrage: Wie wirkt Strahlung auf den Menschen?
Inhaltliche Schwerpunkte: Kernumwandlungen, Ionisierende Strahlung, Spektrum der elektromagnetischen Strahlung

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(B3) an Beispielen von Konfliktsituationen mit physikalisch-technischen Hintergründen kontroverse Ziele und Interessen sowie die Folgen wissenschaftlicher Forschung aufzeigen und bewerten,
(B4) begründet die Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Problemlösungen und Sichtweisen bei innerfachlichen, naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen bewerten.

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Strahlungsarten (4 Ustd.)	unterscheiden α-, β-, γ-Strahlung und Röntgenstrahlung sowie Neutronen- und Schwerionenstrahlung (UF3), erläutern den Begriff Radioaktivität und beschreiben zugehörige Kern-umwandlungsprozesse (UF1, K1), erläutern den Nachweis unterschiedlicher Arten ionisierender Strahlung mithilfe von Absorptionsexperimenten (E4, E5), bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik (B1, B3),	Recherche Nuklidkarte **Absorptionsexperimente zu α-, β-, γ-Strahlung** **Nebelkammer**	Wiederholung und Vertiefung aus der Sek. I
Detektoren (4 Ustd.)	erläutern den Aufbau und die Funktionsweise von Nachweisgeräten für ionisierende Strahlung (*Geiger-Müller-Zählrohr*) und bestimmen Halbwertszeiten und Zählraten (UF1, E2),	**Geiger-Müller-Zählrohr** **Schülerexperimente**	

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Biologische Wirkung ionisierender Strahlung und Energieaufnahme im menschlichen Gewebe Dosimetrie (4 Ustd.)	beschreiben Wirkungen von ionisierender und elektromagnetischer Strahlung auf Materie und lebende Organismen (UF1), bereiten Informationen über wesentliche biologisch-medizinische Anwendungen und Wirkungen von ionisierender Strahlung für unterschiedliche Adressaten auf (K2, K3, B3, B4), begründen in einfachen Modellen wesentliche biologisch-medizinische Wirkungen von ionisierender Strahlung mit deren typischen physikalischen Eigenschaften (E6, UF4), erläutern das Vorkommen künstlicher und natürlicher Strahlung, ordnen deren Wirkung auf den Menschen mithilfe einfacher dosimetrischer Begriffe ein und bewerten Schutzmaßnahmen im Hinblick auf die Strahlenbelastungen des Menschen im Alltag (B1, K2). bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung physikalischer Prozesse, u. a. von ionisierender Strahlung, auf der Basis medizinischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Gegebenheiten (B3, B4) bewerten Gefahren und Nutzen der Anwendung ionisierender Strahlung unter Abwägung unterschiedlicher Kriterien (B3, B4),	ggf. Einsatz eines Films / eines Videos Schulbuch/ Internetrecherche	Erläuterung von einfachen dosimetrischen Begriffe: Aktivität, Energiedosis, Äquivalentdosis
12 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Forschung am CERN und DESY***
Leitfrage: Was sind die kleinsten Bausteine der Materie?
Inhaltliche Schwerpunkte: Standardmodell der Elementarteilchen
Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF3) physikalische Sachverhalte und Erkenntnisse nach fachlichen Kriterien ordnen und strukturieren,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Kernbausteine und Elementarteilchen (4 Ustd.)	erläutern mithilfe des aktuellen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik (UF3, E6), erklären an einfachen Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell (UF1). recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik (K2).	In diesem Bereich sind i. d. R. keine Realexperimente für Schulen möglich. Es z.B. kann auf Internetseiten des CERN und DESY zurückgegriffen werden.	Mögliche Schwerpunktsetzung: Paarerzeugung, Paarvernichtung,
(Virtuelles) Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung Konzept der Austauschteilchen vs. Feldkonzept (2 Ustd.)	vergleichen in Grundprinzipien das Modell des Photons als Austauschteilchen für die elektromagnetische Wechselwirkung exemplarisch für fundamentale Wechselwirkungen mit dem Modell des Feldes (E6).	Lehrbuch, Animationen	Veranschaulichung der Austauschwechselwirkung mithilfe geeigneter mechanischer Modelle, auch Problematik dieser Modelle thematisieren
6 Ustd.	**Summe (Kernphysik): 18**		

Inhaltsfeld: *Relativität von Raum und Zeit (GK)*

Kontext: *Navigationssysteme*

Leitfrage: Welchen Einfluss hat Bewegung auf den Ablauf der Zeit?
Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Zeitdilatation

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können
(UF1) physikalische Phänomene und Zusammenhänge unter Verwendung von Theorien, übergeordneten Prinzipien / Gesetzen und Basiskonzepten beschreiben und erläutern,
(E6) Modelle entwickeln sowie physikalisch-technische Prozesse mithilfe von theoretischen Modellen, mathematischen Modellierungen, Gedankenexperimenten und Simulationen erklären oder vorhersagen,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Relativität der Zeit (6 Ustd.)	interpretieren das *Michelson-Morley-Experiment* als ein Indiz für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit (UF4), erläutern die Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Ausgangspunkt für die Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie (UF1), erklären anschaulich mit der *Lichtuhr* grundlegende Prinzipien der speziellen Relativitätstheorie und ermitteln quantitativ die Formel für die Zeitdilatation (E6, E7), erläutern qualitativ den *Myonenzerfalls* in der Erdatmosphäre als experimentellen Beleg für die von der Relativitätstheorie vorhergesagte Zeitdilatation (E5, UF1). erläutern die relativistische Längenkontraktion über eine Plausibilitätsbetrachtung (K3), begründen mit der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze für Geschwindigkeiten von Objekten, dass eine additive Überlagerung von Geschwindigkeiten nur für „kleine“ Geschwindigkeiten gilt (UF2),	**Experiment von Michelson und Morley** (Computersimulation) **Lichtuhr** (Gedankenexperiment / Computersimulation) **Myonenzerfall** (Experimentepool der Universität Wuppertal)	Ausgangsproblem: Exaktheit der Positionsbestimmung mit Navigationssystemen Begründung der Hypothese von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit dem Ausgang des Michelson-Morley-Experiments Herleitung der Formel für die Zeitdilatation am Beispiel einer „bewegten Lichtuhr“. Der Myonenzerfall in der Erdatmosphäre dient als experimentelle Bestätigung der Zeitdilatation. Betrachtet man das Bezugssystem der Myonen als ruhend, kann die Längenkontraktion der Atmosphäre plausibel gemacht werden.
6 Ustd.	**Summe**		

Kontext: *Teilchenbeschleuniger*

Leitfrage: Ist die Masse bewegter Teilchen konstant?
Inhaltliche Schwerpunkte: Veränderlichkeit der Masse, Energie-Masse Äquivalenz

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

(UF4) Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen natürlichen bzw. technischen Vorgängen auf der Grundlage eines vernetzten physikalischen Wissens erschließen und aufzeigen.
(B1) fachliche, wirtschaftlich-politische und ethische Kriterien bei Bewertungen von physikalischen oder technischen Sachverhalten unterscheiden und begründet gewichten,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
„Schnelle“ Ladungs-träger in E- und B-Feldern (2 Ustd.)	erläutern die Funktionsweise eines *Zyklotrons* und argumentieren zu den Grenzen einer Verwendung zur Beschleunigung von Ladungsträgern bei Berücksichtigung relativistischer Effekte (K4, UF4),	**Zyklotron** (in einer Simulation mit und ohne Massenveränderlichkeit)	Der Einfluss der Massenzunahme wird in der Simulation durch das „Aus-dem-Takt-Geraten“ eines beschleunigten Teilchens im Zyklotron ohne Rechnung veranschaulicht.
Ruhemasse und dynamische Masse (4 Ustd.)	erläutern die Energie-Masse Äquivalenz (UF1). zeigen die Bedeutung der Beziehung $E=mc^2$ für die Kernspaltung und -fusion auf (B1, B3)	Film / Video	Die Formeln für die dynamische Masse und $E=mc^2$ werden als deduktiv herleitbar angegeben. Erzeugung und Vernichtung von Teilchen, Hier können Texte und Filme zu Hiroshima und Nagasaki eingesetzt werden.
6 Ustd.	**Summe**		

Kontext: ***Das heutige Weltbild***

Leitfrage: Welchen Beitrag liefert die Relativitätstheorie zur Erklärung unserer Welt?
Inhaltliche Schwerpunkte: Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Zeitdilatation, Veränderlichkeit der Masse, Energie-Masse Äquivalenz

Kompetenzschwerpunkte: Schülerinnen und Schüler können

(E7) naturwissenschaftliches Arbeiten reflektieren sowie Veränderungen im Weltbild und in Denk- und Arbeitsweisen in ihrer historischen und kulturellen Entwicklung darstellen.
(K3) physikalische Sachverhalte und Arbeitsergebnisse unter Verwendung situationsangemessener Medien und Darstellungsformen adressatengerecht präsentieren,

Inhalt (Ustd. à 45 min)	**Kompetenzen** Die Schülerinnen und Schüler…	**Experiment / Medium**	**Kommentar**
Gegenseitige Bedingung von Raum und Zeit (2 Ustd.)	diskutieren die Bedeutung von Schlüsselexperimenten bei physikalischen Paradigmenwechseln an Beispielen aus der Relativitätstheorie (B4, E7), beschreiben Konsequenzen der relativistischen Einflüsse auf Raum und Zeit anhand anschaulicher und einfacher Abbildungen (K3)	Lehrbuch, Film / Video	
2 Ustd.	**Summe (Relativität): 14**		